

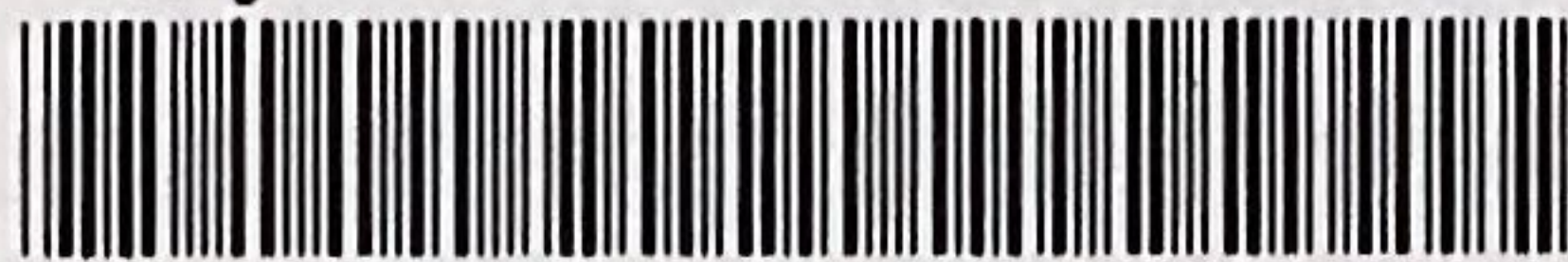
Math. A.

116.2

Math. a.
116 $\frac{1}{2}$

Hullmann

Bayerische Staatsbibliothek



<36657405490019

Der
Raum und seine Erfüllung.

Eine Abhandlung zur Licht- und Wärmelehre

von

Professor K. Hullmann.

BERLIN,

Weidmannsche Buchhandlung.

1884.



Vorrede.

Ich will in vorliegender Abhandlung die Ansichten darlegen, welche ich mir über die Materie und ihre Eigenschaften gebildet habe und will damit den Standpunkt angeben, von welchem aus ich die Erscheinungen in der Natur als Ausflüsse einer einzigen Kraft betrachte. Ich weiss sehr wohl, dass ich mich damit in einem grossen Gegensatze gegen einen grossen Teil meiner Fachgenossen befinde, aber ich glaube doch von einer Veröffentlichung meiner Ansichten um so weniger abstehen zu dürfen, als ich auch schon in früheren Schriften die Grundzüge derselben dargelegt und die Kritik nicht gescheut habe, und ich jetzt auch in mehreren Punkten in bestimmterer Fassung und mathematischer Begründung den Zusammenhang der thatsächlichen Erscheinungen und des zu Grunde gelegten Einheitsgesetzes der Natur glaube darthun zu können.

In den letzten Jahrzehnten haben sich, durch die Arbeiten bedeutender Männer gefördert, die grundlegenden Ansichten über die Natur der Wärme immer mehr befestigt. Der Nachweis des mechanischen Wärmeäquivalents lässt keinen Zweifel mehr bestehen, dass wir die Wärme als eine Art Molekularbewegung aufzufassen haben, welche geeigneten falls sich in Massenbewegungen umzusetzen vermag. Nun aber steht neben der mechanischen Wärmetheorie, oder besser gesagt, aus ihr erwachsen die kinetische Gastheorie, so dass es jetzt schon so weit gekommen ist, beide Lehren als eine und dieselbe, die letztere als nothwendige Folgerung aus der ersten zu betrachten. Man kann aber sehr wohl, ohne den Satz von der Äquivalenz zu bestreiten, die kinetische Natur der Gase leugnen; hat doch der hauptsächlichste Schöpfer der neueren Wärmetheorie, Clausius, ausdrück-

lich hervorgehoben, dass seine Hypothese über die Natur der Gase nicht mit den allgemeinen Sätzen über Wärme und Arbeit zusammenfällt.

Es ist eine schwere, fast undankbare Aufgabe in einer Zeit, in welcher die jetzige Gastheorie die Wissenschaft vollständig beherrscht, mit einer anderen Auffassung hervorzutreten; wenn aber ein Standpunkt dargelegt werden kann, von welchem aus nicht nur die Natur der Gase, sondern zugleich auch die vielen anderen Erscheinungen einheitlich erklärt werden können, so erscheint das Hervortreten mit anderer Ansicht Pflicht zu sein. Auch die Meinungen führen ihren Kampf ums Dasein, und darum erwarte ich keineswegs von denen, welche diese Blätter in die Hand bekommen, ein Aufgeben ihrer bisherigen Auffassung, sondern nur eine ernste, unbefangene Prüfung des diesen Arbeiten zu Grunde liegenden Gedankens.

Oldenburg, im Januar 1884.

§ 1.

Der Raum ist die unendliche Ausdehnung nach allen Richtungen.

Die Erfahrung ist die Grundlage unseres Denkens und unserer Begriffe. Verschmähen wir es sie, die Erfahrung, zu Grunde zu legen, so machen wir Schlüsse, die Worte und nichts als Worte enthalten, ohne dass ein Begriff sich dabei zu bilden vermag. Es lehrt uns die Erfahrung den Begriff der geraden Linie, der Ebene, des Raumes kennen und wir sind vermöge unserer Denkweise im stande, daraus Schlüsse zu ziehen, diese zu verbinden und zu weiteren Schlüssen zu kommen. Wir haben in der Erfahrung wieder das Mittel in der Hand, prüfend zu untersuchen, ob der Entwicklungsgang unseres Denkens auch der richtige gewesen ist. Von der geraden Linie, der kürzesten Entfernung zweier Punkte, einer Vorstellung, die mit dem Begriff der Richtung in eins zusammenfällt, ausgehend, bilden wir uns die Begriffe der Ebene, des Raumes. Von dem Raume, dessen Begriff wir durch die Erweiterung der Grenzen eines jeden Körpers gewinnen, ausgehend, kommen wir durch die Grenzen der Teile desselben zu der Vorstellung der Ebene und der Linie. So sind im Raume unendlich viele Ebenen, in jeder dieser Ebenen unendlich viele Linien denkbar und darum können wir den Raumbegriff auch durch den der Linien feststellen, indem wir sagen, dass von jedem Punkte des Raumes ausgehend sich unendlich viele unbegrenzte gerade Linien ziehen lassen. Jede Linie giebt eine Richtung, eine Ausdehnung, eine Dimension an. Der Raum hat unendlich viele Dimensionen und jede dieser Dimensionen ist jeder andern in sich gleichberechtigt und gleichwertig. Nun fassen wir Menschen zwar, um bequemer darstellen und das Dargestellte besser der Rechnung unterwerfen zu können, den Raum nach drei Hauptrichtungen auf, nach drei rechtwinklig gedachten, von einem Punkte ausgehenden unendlichen Achsen, zu

deren Lage wir aber vollständig freie Hand haben. Wir sprechen von Länge, Breite und Höhe oft, als wenn sie bestimmte Richtungen wären, weil sich eine solche Ausspruchsweise eng an die Erscheinung bekannter Körper anknüpft; als Mathematiker halten wir aber immer fest, dass jede Richtung die der Länge sein kann, dass die der Breite jede der vielen zur Länge senkrechten Richtung sein darf und die Höhe die Senkrechte zur Ebene der Länge und Breite ist. So sprechen wir auch von einem dreidimensionalen Raume, als wenn es auch einen andern Raum geben könnte, welcher mehrere Dimensionen hätte. Aber unser Raum hat nicht drei, er hat unendlich viele Dimensionen, die wir nur, wir wiederholen es, auf drei beliebig gewählte Dimensionen als auf Hauptdimensionen beziehen.

In neuerer Zeit machen sich Gedanken geltend, als ob wir dreidimensionalen Menschen nach der Erfahrung auch nur einen dreidimensionalen Raum aufzufassen vermöchten und als ob Wesen höherer Art Raumvorstellungen und Raumbegriffe von vier und mehr Dimensionen zu erfassen vermöchten und Wesen niederer Art, von zwei Dimensionen, gar nur die Vorstellung von einer Ebene haben könnten. Es ist nicht zu leugnen, dass es viel Interesse erregt, zeitweilig einer solchen Gedankenreihe zu folgen, aber doch nur für kurze Zeit. Wo jede natur- und erfahrungsgemässe Grundlage des Denkens fehlt, wird der Gedanke selbst nur irrlichterieren. Wenn auch bedeutende Männer, wie bekannt, sich an dieser Aufgabe versucht und die Möglichkeit solcher Räume behauptet haben, so müssen wir uns trotzdem doch bestimmt gegen diese Möglichkeit aussprechen. Angenommen, es gäbe einen Raum von vier Dimensionen, so müsste sein Grenzwert unser Raum sein. Wie dieser unendlich viele Ebenen enthält, so müsste jener unendlich viele Räume von drei Dimensionen enthalten, Räume wie unsern, — ich nenne ihn zum Unterschiede von solchen sogenannten höhern Räumen unsern Raum, denn wir erfassen ihn. Die unendlich vielen dreidimensionalen Räume müssten sich durchdringen, wie die Ebenen in unserm Raum. Es wäre anmassend anzunehmen, dass nur unser Raum körpererfüllt sein sollte, auch die andern müssten es sein und diese Körper müssten die unsern durchdringen. Dieselbe Gedankenfolge wäre anzustellen, wenn wir von vier auf fünf Dimensionen übergehen u. s. w. bis ins Unendliche. Zu welchem wirren Zustand gelangen wir, wenn wir uns in Gedanken über unsern

einfachen Raum, der schon unendlich viele Dimensionen hat, erheben. Ja, wäre es denkbar, dass in unserem Raume sich drei bestimmte Richtungen als Länge, Breite, Höhe auszeichneten, so wäre es auch schon eher denkbar, dass es für höhere Wesen auch eine einzelne vierte u. s. f. Richtung und somit Räume höherer Art gäbe; so aber bleiben wir, gestützt auf die Erfahrung und geleitet durch eine einfache Folge in unserm Schliessen, bei der gegebenen Erklärung, dass der Raum die unendliche Ausdehnung nach unendlich vielen Richtungen ist, und bei dem Satze, dass unser Raum der Raum ist.

§ 2.

Der Raum ist stetig erfüllt.

Wir stellen uns mit diesem Satze wieder auf den Boden der Erfahrung. Diese lehrt uns zunächst das Dasein fester und flüssiger Dinge kennen. Bei näherer, geschärfterer Beobachtung kommen wir auch zu der Überzeugung, dass auch die Luft und die ihr ähnlichen Wesen Körper sind, dass sie nämlich durch irgend Etwas erfüllte Teile des Raumes sind. Noch weiter gehende Erfahrung auf Grund wissenschaftlicher Beobachtung sagt uns, dass selbst der ganze Weltenraum ausser der Erde durch irgend Etwas ausgefüllt sein muss, so auch die kleinsten Räume, die in den irdischen Körpern sein müssen; denn überall sehen wir Licht, und Licht ist Bewegung und sagt uns, dass irgend Etwas sich bewegen muss. Dieses Raumerfüllende nennen wir Materie und schreiben ihr zunächst nur die eine Eigenschaft, die der Raumerfüllung zu.

In dieser Frage begegnen wir Ansichten, die in neuerer Zeit von Einigen mit besonderer Wichtigkeit hervorgehoben werden, dass es nämlich unstatthaft sei, von einer raumerfüllenden Materie zu reden. Die Punkte der Materie sollen als Ursachen von fernwirkenden Kräften nur als Kraftpunkte ohne Erfüllung mit irgend Etwas gedacht werden. Auch diesen Ansichten wollen wir uns nur auf Grund der Erfahrungssätze und der daraus gezogenen Schlüsse, die wir wieder in der Natur bewahrheitet finden, entgegenstellen und sie als Wortsätze ohne Inhaltsbegriffe, als für mathematisch-naturwissenschaftliche Untersuchungen unbrauchbar bei Seite stehen lassen und in den weiteren Schlussfolgerungen nur von dem obigen Satze ausgehen: Der Raum ist erfüllt.

Die folgenden Untersuchungen bringen uns zu dem Schlusse, dass er in jedem Punkte, dass er stetig erfüllt ist.

§ 3.

Jeder Punkt der Materie wirkt in die Ferne.

Mit diesem Satze stellen wir uns wieder einer grossen Anzahl der Naturforscher aufs Entschiedenste gegenüber; wir wissen es, können aber doch von diesem Satze nicht ablassen und glauben, dass nur von ihm aus eine weitere Erklärung aller der Vorkommnisse in der Natur möglich ist. Wir wissen auch, wie viel Schwierigkeiten es mit sich bringt, wie es geradezu unmöglich ist, sich vorzustellen, dass ein jeder Punkt des erfüllten Raumes auf alle nahen und fernen Punkte seine Wirkung ausüben solle, ohne dass irgend eine sinnlich wahrnehmbare Vermittlung stattfindet und doch können wir nicht anders als diesen Satz anzunehmen. Die Erfahrung ist es wieder, die uns auf das Unabweislichste diesen Satz vorhält; denn sie bestätigt ihn in jeder Bewegung, in jeder Erscheinung im Nahen und Fernen. Die Frage nach der Ursache und dem Wesen der Fernwirkung zu beantworten, mag, soll sie überhaupt dem menschlichen Forschergeist je beantwortbar sein, erst viel späterer Zeit vorbehalten sein, wenn erst das ganze Wesen der Natur in all ihren Einzelheiten klar und offen vor den Augen des forschenden Geistes darliegt. Freilich haben die vielen bekannten Versuche, das Wesen der Anziehung durch den Stoss des Weltäthers oder durch seinen Druck zu erklären, viel Anlockendes, und es ist der darauf verwandte Scharfsinn nicht genug zu rühmen; aber befriedigen können sie das Gefühl, das nach einheitlicher Auffassung des Weltganzen strebt, nicht und keine der Lehren hat sich der grösseren Teilnahme der Forscher zu rühmen. Es liegt uns darum auch ferne, die einzelnen Versuche kritisch zu beleuchten, denn es soll nur die Aufgabe dieser Untersuchung sein, die Schlussfolgerungen des aufgestellten Satzes zu bestimmen und nachzuweisen, in wie weit sie mit den Thatsachen der Natur in Einklang stehen.

Schon in den ersten Zeiten der neuen Lehre von der Anziehung der Weltkörper fanden sich die Gegner, die von einer Fernwirkung, welche unvermittelt vor sich gehen sollte, nichts wissen wollten und schon Leibnitz und Huygens traten als entschiedene Gegner Newtons

auf, und die Einwendungen von damals klingen noch jetzt mit denselben Worten wieder und werden wohl noch lange und oft wiederklingen. Aber Newton hatte ja, wurde das früher schon übersehen, gar nicht gesagt, dass sich die Weltkörper anzögen; ausdrücklich hob er hervor, dass die Erscheinungen so wären, als ob sich die Weltkörper anzögen und Hypothesen wollte er nicht aufstellen. Nun lässt sich nicht immer, wenn man von der Anziehung und ihren Folgen spricht, der unbestimmte Satz aussprechen, dass die Erscheinung, von der man spricht, so stattfindet, als ob eine Anziehung stattfände, sondern man sagt einfacher, weil sie stattfindet. Rechnerisch kann man nicht anders, als den Satz in bestimmter Form zu Grunde zu legen, und weil man ihn überall in der Natur bewahrheitet findet, selbst einen ungesehenen Himmelskörper durch ihn gefunden hat, ehe das leibliche Auge ihn gesehen, weil man ihn findet, nicht nur, wie Newton zuerst meinte, in den Weltkörpern im grossen Ganzen, auch in dem Wesen kleinerer Körper, wie die Schwingungen eines Pendels in der Nähe von Bergmassen und Eisenkugeln darthun, so müssen wir ihn auch in strenger und einfacher Gedankenfolge für die kleinsten Körperteilchen und die kleinsten Entfernungen für wahr halten. Darum heisst es jetzt allgemein: die Körper ziehen sich an, sie haben eine Fernwirkung. Mag diese als Wille gedacht werden, als Lust- und Unlustgefühl, die Thatsache muss als feststehend angenommen werden; wir können sie nicht erklären und wollen unsere Kräfte nicht am Unmöglichen versuchen. Jedenfalls finden die Erscheinungen in dem Raume statt, als ob eine Fernwirkung aller einzelnen Punkte vorhanden wäre, und darum wenden wir im Folgenden immer die bestimmtere Fassung an, dass sie vorhanden ist.

§. 4.

Die Wirkung jedes erfüllten Punktes des Raumes ist der Dichte gerade und dem Quadrat der Entfernung umgekehrt verhältnissmässig.

Wir sehen die Fernwirkung als eine Eigenschaft jedes Punktes der Materie, nicht des Raumes an und für sich an, also geht daraus hervor, dass je dichter die Erfüllung des Raumpunktes, desto grösser die Wirkung desselben ist; daher der erste Teil des obigen Satzes.

Selbstverständlich ist, dass die Wirkung eines jeden Punktes mit zunehmender Entfernung von demselben abnehmen muss. Newton stellte für die Anziehung der Weltkörper als Abnahmegesetz das vom umgekehrten Quadrat der Entfernung auf. Es hat sich dasselbe in allen Bewegungen des Weltraumes als wahr erwiesen. Später ist gefunden worden, dass auch andere bekannte Wirkungen, welche von einem Punkte ausgehend, sich in die Ferne hinein verbreiten, demselben Gesetze folgen, so das Licht, der Magnetismus, die Electricität. Wir finden, wie bekannt, in manchen Büchern der Mechanik ganz gute, recht scharfsinnige Untersuchungen, wie die Anordnung des Weltganzen sich gestalten würde, wenn andere Abnahmegesetze herrschten. Wir wissen auch, wie die Annahmen und Berechnungen über das innere Wesen des den Lichtbewegungen zu Grunde gelegten elastischen Imponderabils auseinandergehen. Oft sollen die Punkte desselben sich umgekehrt der ersten, oft der sechsten Potenz abstossen. Andere Betrachtungen gehen davon aus, dass die Körperpunkte sich wohl in grösserer Ferne, nicht aber in nächster Nähe umgekehrt quadratisch anziehen könnten, denn sonst würde die Anziehung der nächsten Körperpunkte unendlich gross sein. Dies Resultat widerspräche dem Gesetze von der Constanz der Kraft. Ein neuerer Forscher hat deshalb als Hauptgesetz einen Ausdruck gegeben, der neben der Entfernung den ersten und zweiten Differentialquotienten der Bewegung in sich enthält. Wir müssen uns entschieden gegen alle diese Annahmen aussprechen, die Naturforschung soll von der Erfahrung ausgehen und dann ihre Schlüsse ziehen, aber sie soll dabei den naturgemässen Weg des Denkens nicht verlassen. Für die Natur giebt es kein absolut Grosses oder Kleines; die kleinste Entfernung, die wir in einem Augenblick annehmen, ist für noch kleinere oft sehr gross. Ein Wirkungsgesetz, das über die Abnahme mit wachsender Entfernung sich ausspricht, muss denselben Ausdruck haben für alle Entfernungen, für solche, die wir Menschen gross, wie für solche, die wir klein nennen. Das einzig mathematisch natürliche Abnahmegesetz ist das von dem umgekehrten Quadrat der Entfernung.

Wir denken uns irgend einen Punkt A im Raume, von dem aus gleichmässig nach allen Seiten hin die ihm innewohnende Kraft sich ausbreitet. Wir können uns die Vorstellung machen, dass von A aus gleichmässig Strahlen nach den unendlich vielen Richtungen des Raumes gezogen seien und dass diese Strahlen das Wesen der

Kraft darstellten. In den Entfernungen r_1 und r_2 breitet sich dieselbe Kraftmenge, die dem Punkte eigen ist, über die Kugelflächen $4r_1^2\pi$ und $4r_2^2\pi$ aus. Also sind die Intensitäten der Kraft auf die Flächeneinheit bezogen, wenn wir sie in den genannten Entfernungen mit J_1 und J_2 bezeichnen, bestimmt durch den Satz

$$J_1 : J_2 = \frac{K}{4r_1^2\pi} : \frac{K}{4r_2^2\pi}$$

wobei K selbstverständlich die dem Punkte eigene Kraft darstellt. Darum findet statt

$$J_1 : J_2 = r_2^2 : r_1^2,$$

d. h. die Anteile an der Gesamtkraft, welche dieselben Flächengrößen in verschiedenen Entfernungen von dem wirkenden Punkte empfangen, verhalten sich umgekehrt wie die Quadrate dieser Entfernungen.

Diese Schlussweise ist ganz allgemein und gilt für alle Wirkungen und Äusserungen, die sich von einem Punkte aus in den Raum hinein verbreiten, sowohl für unmateriell gedachte Anziehungen und Abstossungen, als auch für Bewegungswirkungen. Selbst ein Bewegungszustand, der, von einem Punkte ausgehend, sich gleichmässig verbreitet und in jedem Augenblicke seine lebendige Kraft an die nächste Schicht u. s. w. abgibt, wird, da benachbarte Schichten concentrische Kugelschichten sind, die mit dem Quadrat der Entfernung wachsen und da nach dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft sich die unverminderte Gesamtbewegung fortpflanzt, in gleichen Flächenteilen an Intensität nur nach demselben Abnahmegesetz sich verbreiten können.

Die Erfahrung hat die Richtigkeit dieser Schlussweise auf verschiedenfache Weise für die bekannten Kräfte bestätigt und es ist darum nicht zuviel gewagt, wenn wir sagen, dass dieses Abnahmegesetz das einzige mathematisch wahre und naturnotwendige ist und dass wir es darum bei allen weiteren Forschungen den Untersuchungen zu Grunde legen müssen.

Wir werden im Folgenden stets an diesem Gesetz für die Fernwirkung, wie wir es an die Spitze dieses Abschnitts gestellt haben, festhalten und werden, da wir der Einfachheit des Ausdrucks wegen oft nur vom Anziehen oder Abstossen der Dinge sprechen, ohne jedes Mal die nähere Bestimmung beizufügen, doch stets nur die Fernwirkung darunter verstanden wissen wollen, die der Dichte gerade, dem Quadrat der Entfernung umgekehrt verhältlich stattfindet.

§ 5.

Die Fernwirkung tritt im Gegensatz, als Anziehung und Abstossung auf.

Mit der Erkenntnis des Newtonschen Gesetzes, vielmehr als mit der vollen Verallgemeinerung desselben der Sitz der Anziehung in die Atome gelegt wurde, war die den Raum erfüllende Materie zum ersten Male für den forschenden Geist eine Materie geworden, eben dadurch, dass ihr ausser der Eigenschaft der Raumerfüllung eine zweite Eigenschaft, wodurch sie auf andere Atome wirkend auftreten konnte, zugeschrieben wurde. Die dritte Eigenschaft, dass kein Körper aus sich selbst heraus seinen mechanischen Zustand verändern könnte, dass er sich selbst nicht in Bewegung oder in Ruhe zu setzen vermöge, das Gesetz der Beharrung, war gleichzeitig erkannt worden.

So war die Grundlage für die Erscheinungen der uranologischen Welt gegeben, und fortwährend wurde sie durch neue Erscheinungen und Berechnungen bewahrheitet gefunden, bis sie zuletzt in der Entdeckung eines neuen Gliedes unseres Sonnensystems ihren schönsten Beweis fand. Aber gerade seit jener Zeit wurde das Gebiet der tellurischen Erscheinungen immer mannigfaltiger und dadurch verworrener. Die Optik fand zuerst eine genügende Erklärung in der Annahme eines allverbreiteten elastischen Fluidums, dessen Transversalschwingungen Licht sein sollte. Die Wärme, damit die Beschaffenheit der Aggregatzustände, der Magnetismus, die Electricität, bedurften zur Erklärung noch vieler, oft vager Annahmen. Man war leicht mit irgend einem Imponderabil zur Hand, welches die den Kräften entsprechenden Eigenschaften besitzen und damit die Zwischenräume der Körper ausfüllen sollte; aber während man damit eine Kraft erklärte, machte man die Vorstellung von dem Gesamtwesen der Körper immer unklarer. In neuerer Zeit kam man allerdings auf den einheitlichen Standpunkt, sämtliche Imponderabilien in einem, dem Äther, zu verschmelzen, den aber die neueste Zeit bemüht ist, wieder aus der wissenschaftlichen Vorstellung zu verdrängen. Durch diese neuen Ansichten wird freilich die Vorstellung von den Körpern und ihren Kräften einfacher, aber die Erklärung der Erscheinungen künstlicher. Im weiteren soll dargelegt werden, wie aus der früheren allgemeinen Vorstellung des Äthers,

der nur mit unbestimmt repulsiven Kräften begabt sein sollte, sich die eines naturnotwendigen Mediums mit bestimmten, mathematisch behandelbaren Eigenschaften entwickelt.

Die Mathematik als die gegebene Abstraction aus dem Concreten des Weltganzen bringt den Begriff des Gegensatzes, welchen wir in allen Beziehungen der Natur dargestellt finden, zum einfachsten und schärfsten Ausdruck. Mit dem Gefühl der Individualität, dem Erwachen des Bewusstseins, entsteht zuerst der Begriff der Einheit, denn jedes Dasein ist eine Einheit. Das mehrfache Vorkommen gleichartiger Einheiten liefert den Begriff der Zahl. Die Negation der Zahl ist die Null. Jedes Dasein, das sich in einer bestimmten Beziehung zur Null, zu seiner Nichtexistenz ausspricht, bedingt durch sich schon das Vorhandensein der entgegengesetzten Beziehung. Die Richtung vorwärts bedingt durch sich allein das Dasein der Richtung rückwärts; die nördlichen, östlichen Grade bedingen die südlichen, westlichen, die eine Electricität, der eine Magnetismus die entgegengesetzten Kräfte; die Möglichkeit des Vermögens ist nur gegeben durch die der Schuld. Die abstracte Bezeichnung der Mathematik für den Gegensatz geschieht durch die Bezeichnung positiv und negativ, wobei festgehalten werden soll, dass das Wort negativ nur als entgegengesetzt, nicht als verneint aufzufassen ist, da die Verneinung der Zahl zur Null führt. Ganz allgemein heisst dieser Grundsatz:

Jedes Dasein, das in einer gewissen Beziehung zu seinem Nichtdasein auftritt, bedingt durch sich allein schon das Vorhandensein der entgegengesetzten Beziehung.

Von diesem Satze soll eine besondere Anwendung, wie folgt, gemacht werden: Mit einer Wahrscheinlichkeit, welche der Gewissheit gleich zu setzen ist, ist dargethan, dass die Anziehung körperlicher Punkte stattfindet ihren Massen gerade, den Quadraten der Entfernungen umgekehrt verhältniss. Es muss darum die Abstossung räumlich erfüllter Punkte ebenfalls naturnotwendig vorhanden sein. Sie muss nach demselben Gesetze mit wachsenden Entfernungen abnehmen, denn es giebt kein anderes logisch denkbare Gesetz der Abnahme und sie muss den Massen, welche die Punkte erfüllen, gerade verhältniss sein. Die Summe dieser räumlich erfüllten Punkte wollen wir auch mit dem bisher gebräuchlichen Namen Äther be-

legen, während wir im Folgenden die attractiven Punkte stets mit dem Namen körperliche Punkte benennen werden.

Zu diesem Schlusse, dass das Weltall von zwei gleich berechtigten, beziehlich entgegengesetzten Materien ausgefüllt ist, sind wir gelangt, indem wir ein durch Beobachtung und Berechnung als wahr anerkanntes Gesetz zu Grunde legten und darauf nach den Gesetzen logischen Denkens weiter bauten. Im weiteren wollen wir nachweisen, wie sich mit Annahme dieses Gesetzes die Weltordnung im Grossen und Kleinen daraus ergeben muss und wir werden sehen, wie diese Ergebnisse mit den Thatsachen der Empirie in Einklang stehen. Man verlange nur nicht, dass es schon jetzt möglich sei bis ins Einzelne hinein alle Erscheinungen, wenn auch nur die der unorganischen Welt, darzuthun; dazu sind manche Teile unsrer Wissenschaft noch zu sehr im Werden. Es muss vor allen Dingen erst die Chemie eine vollständige sichere Basis für die Anschauung der Constitution der Körper, der elementaren wie der zusammengesetzten, geschaffen haben und es müssen dann die Zahlenwerte, vor allen die der Wärmeerscheinungen, vollständig sicher sein. Darum muss es in vielen Teilen genügen, vor der Hand eine hinreichende anschauliche Vorstellung von den Körpern, von ihrem Verhalten in den verschiedenen Aggregatzuständen und von ihrer Einwirkung auf einander geschaffen zu haben, wie es überhaupt entschieden vorzuziehen ist, zuerst eine sinnlich vorstellbare Erklärung von den Vorgängen in und an den Körpern zu geben, als zu versuchen, sie gleich mit dem ganzen Apparat analytischer Berechnung quantitativ zu bestimmen. So schaffen Huygens constructive Erklärungen der Reflection und Refraction eine bessere Basis für die Undulationstheorie als alle spätere glänzenden analytischen Rechnungen.

§ 6.

Die Summe der Materie, sowie die der Kraft, ist eine beständige Grösse.

Es ist fast überflüssige Arbeit, über diesen Satz noch begründende Worte sagen zu wollen. Er ist der letzt erkannte der grossen grundlegenden Principien der Naturphilosophie, aber er ist darum nicht minder als der Grundsatz aller aufzufassen. So wie erkannt war, dass bei allem scheinbaren Vernichten und Vergehen der Körper,

so im Verbrennungs- und Verwesungsprocess nur Formen- und Zustandsveränderungen der betreffenden Körper vor sich gingen, nicht ein wirkliches Vernichten der Materie, ebenso dass beim Werden und Entstehen der Körper, so der Krystalle, der Pflanzen und Tiere, keine Neubildung von Materie, sondern nur eine Aufnahme und Formenveränderung bereits vorhandener Materie stattfände, hatte man den Satz, dass keine Materie sich aus Nichts bilden und keine sich in Nichts auflösen könne. Das Princip von der Erhaltung der Materie war erkannt. Jeder Punkt der Materie ist die Quelle einer allseitig sich ausbreitenden fernwirkenden Kraft und mit der Materie bleibt die Kraft derselben erhalten.

So lange die Menschen beobachtet haben, ist die ganze Natur im Grossen und Kleinen in Bewegung, und wir sehen, dass aus jeder Bewegung stossend, antreibend andere Bewegungen entstehen oder entstehen können. Von den uns bekannten Vorgängen aus rückwärts und vorwärts schliessend, müssen wir aussprechen, dass es stets so gewesen ist und stets so sein wird. Jeder Augenblick der Bewegung ist die Ursache der Bewegung des nächstfolgenden Augenblicks; die Erhaltung des Ganzen ist nur möglich, wenn bei den Umsetzungen von Augenblick zu Augenblick keine Veränderung in der Summe, der Gesamtheit der Bewegungsgrössen, weder eine Verminderung, noch eine Vermehrung eintritt. Selbst eine Vermehrung nicht, denn dann hätte ja der vorhergehende Augenblick weniger an Bewegungsgrösse gehabt, und nichts stände dem plötzlichen Entstehen aller Bewegung entgegen.

In dem Gesetz von der Erhaltung der Kraft, von dem Gleichwert der Bewegungsgrössen in den Augenblicken vor und nach dem Umsetzen in andere Bewegungsformen, ist das Gesetz der Beharrung als besonderer Fall enthalten, oder das Gesetz von dem steten Gleichwert derselben Bewegung, so lange sie eben dieselbe bleibt und nicht durch andere Ursachen beeinflusst wird.

Das Gesetz von der Erhaltung der Materie und der Kraft ist spät erkannt worden, obschon es jetzt als Grundsatz, als Axiom allen mathematischen Naturbetrachtungen zu Grunde gelegt wird. Es schliesst jedes willkürliche Eingreifen in die Gesetze der Natur aus und bestimmt die Arten aller Bewegungen als Folgerungen ewig gültiger Gesetze und darum hätte es a priori aufgestellt und den Gesetzen der Mechanik vorangestellt werden können. Von ihm ausgehend lassen sich auch die einzelnen Sätze der Mechanik am ein-

fachsten beweisen, z. B. das Gesetz vom Parallelogramm der Kräfte, dadurch, dass wir sagen, dass, wenn ein Körper von zwei Kräften nach verschiedenen Richtungen hin mit verschiedenen Geschwindigkeiten angetrieben wird, in beiden Richtungen die Kraftwirkungen erhalten bleiben, nichts verloren gehen kann, da für diesen Fall ja alle weitem Einflüsse als nicht daseiend angesehen werden, und dass deshalb der Körper in jedem Zeitmoment sich im Durchschnittspunkt beider Richtungen befindet, das ist in dem Punkte der Diagonale, welcher der Zeitgrösse entspricht. So ähnlich auch die anderen Gesetze der Mechanik. Diese Beweise sind unumstösslich, so lange eben das Gesetz von der Erhaltung als Axiom angesehen wird, welches wie alle Axiome, streng genommen unbeweisbar ist, aber trotzdem in seiner Einfachheit nicht anfechtbar für denjenigen, der nach Erfahrungen zu urteilen und Schlüsse zu ziehen vermag.

Der Satz von der Erhaltung hat für die Mathematik denselben Wert wie der Satz, dass die gerade Linie die kürzeste Verbindung zweier Punkte ist, für die Geometrie, und wie der Satz, dass jedes Dasein für sich eine Einheit ist, für die Arithmetik. Sie sind die einfachsten grundlegenden Erfahrungssätze, die ohne eines Beweises fähig zu sein, auch keines Beweises bedürfen. Für den, der diese Sätze nicht als richtig anerkennt, giebt es eben keine mathematischen Wissenschaften und damit keine gesetzmässige Ordnung der Natur.

Es mag noch darauf aufmerksam gemacht werden, dass das Wort Kraft so leicht doppelsinnig gebraucht wird. Erklären wir den dem Worte zu Grunde liegenden Begriff als die Ursache irgend einer Wirkung, so sind auch Bewegungsgrössen, welche sich in anderen Bewegungen umsetzen, Kräfte für diese und der Begriff Kraft fällt mit dem der Bewegungsenergie zusammen; andererseits sind aber auch die potentiellen und actuellen Energien, Druck und Bewegungen, hervorrufoende Wirkungen der raumerfüllten Punkte Kräfte. Richtig wäre es vielleicht, nur für diese Ursachen das Wort Kraft, für die andern, das der Energie zu gebrauchen, aber nach dem herrschenden Sprachgebrauch lässt es sich nicht vermeiden, gelegentlich auch von der Kraft der Bewegung, des Lichts, der Wärme u. s. w. zu reden. Missverständnisse werden dadurch nicht leicht herbeigeführt.

§ 7.

Die Körperpunkte ziehen an, die Ätherpunkte stossen ab der Dichte gerade, dem Quadrat der Entfernung umgekehrt verhältniss.

Wir stellen diesen Satz, den wir vorhin schon im allgemeinen vorausgeschickt haben, nochmals an die Spitze dieser Betrachtung, um ihn weiter zu zergliedern und die allgemeinen Folgerungen aus ihm festzustellen. Wir wollen dieses Gesetz, weil wir von ihm aus die gesamten Erscheinungen des Weltalls als Wirkungen ansehen, mit dem Namen Grundgesetz der Materie benennen. Mag es unbescheiden klingen, ein so stolzes Wort zu gebrauchen, aber der Sache entspricht es und wir sind gern bereit, so jemand eine einfachere und klarere einheitliche Ursache der Erscheinungen aufstellt, diese Benennung aufzugeben.

Nach diesem Grundgesetz giebt es also zwei Materien, eine anziehende und eine abstossende. Die erste ist schon seit Newtons Tagen als wirklich daseiend erkannt, die zweite haben die Optik und andere Zweige der Physik als hypothetisch auch schon aufgestellt und sie zur Begründung der Lichtlehre, zur Erklärung der Wärmeerscheinung, der Aggregatzustände mitunter benutzt. Über die Wechselwirkung beider Materien sind bisher verschiedene Vermutungen aufgestellt worden, eine einheitliche Ansicht ist noch nicht gefunden worden. Wir glauben auf die Frage, wie sich die beiden Materien gegen einander verhalten, nur eine Antwort geben zu können, nämlich diese:

Es ist die Anziehung eines körperlichen Punktes vollständig als Eigenschaft dieses Punktes erkannt worden, vielleicht ähnlich radialen Strahlen, welche sich von diesem Punkte aus gleichmässig nach allen Seiten hin verbreiten und alles Daseiende nach sich hin heranziehen. Es ist undenkbar, dass eine solche Richtung erst dann die anziehende Eigenschaft bekommt, wenn sie auf einen anderen körperlichen Punkt stösst. Ist die Anziehung Eigenschaft des Punktes, so muss sie es immer und für Alles sein. Es zieht also der körperliche Punkt Alles nach dem bekannten Gesetze an sich, sowohl Äther- als Körperpunkte. Derselbe Schluss gilt auch von den Ätherpunkten. Ist auch hier die Abstossung Eigenschaft dieser Punkte, so wirkt sie auf Alles in derselben Weise, sowohl auf Körper- als

auf andere Ätherpunkte. Darum muss der allgemeine Ausdruck dieses Gesetzes lauten:

Die Körperpunkte ziehen an, die Ätherpunkte stossen ab den Massen gerade, den Quadraten der Entfernungen umgekehrt verhältlich.

Dieses Gesetz lässt sich in vier Teile zerlegen:

- 1) die Körperpunkte ziehen sich gegenseitig an,
- 2) die Körperpunkte ziehen die Ätherpunkte an,
- 3) die Ätherpunkte stossen die Körperpunkte ab,
- 4) die Ätherpunkte stossen sich gegenseitig ab

nach demselben Gesetze der Wirkung in die Ferne.

Der erste Teil des Gesetzes zwingt die körperlichen Punkte sich zu nähern, zunächst zu Atomen in mehr oder minder dichterem Erfüllung des Raumes zusammenzutreten. Die Atome treten zu Molekülen, diese zu Körpern zusammen. Die Summen der Körper bilden die Weltkörper. Wir haben das Newtonsche Gravitationsgesetz als einen integrierenden Bestandteil des allgemeinen Grundgesetzes vor uns; die Anziehung der Atome, welche sich als Dichtigkeit, Cohäsion, Festigkeit äussert, ist die Folge dieses Gesetzes, beeinflusst allerdings durch die verschiedenartige Wirkung der auf mannigfache Weise dazwischen gruppierten Ätherpunkte und ihrer Bewegungen. Die Wirkungen dieses ersten Teils sind in den Bewegungen der Weltkörper bereits auf das Vollständigste durch Beobachtungen und Berechnungen bewiesen und in der Constitution der tellurischen Körperwelt als thatsächlich vorhanden vermutet.

Nach dem zweiten und dritten Teile ziehen die Körperpunkte die Ätherpunkte an und umgekehrt stossen diese jene ab. Es muss darum ein kleiner Körper, vielleicht ein Atom, welches in einen Raum versetzt gedacht wird, in dem sich nur der allgemein verbreitete Äther befindet, auf die umgebenden Ätherpunkte eine Anziehung ausüben, in Folge dessen diese Punkte näher an den Körper herantreten und eine Art Atmosphäre um ihn bilden. Eine solche Atmosphäre muss mit wachsender Entfernung von dem Mittelpunkte immer dünner werden, da einmal die Anziehung abnimmt und dann auch die schon gelagerten Ätherschichten abstossend einwirken. Die abstossende Wirkung der Ätherhülle auf den Körperkern wird verschwinden, da sie von allen Seiten gleichmässig auftritt, sich also selbst vernichtet, indes wird sie durch den allseitigen Druck auf den Kern diesen noch mehr zusammenpressen, ihn also dichter

machen, als er in alleiniger Folge der Anziehung der einzelnen Punkte sein würde.

Treten solche Kerne mit ihren Hüllen zu grösseren Gruppen zusammen, so werden diese, je nach der Grösse der Kerne und der Hüllen, sich äusserlich verschieden gestalten. Sind die Hüllen sehr gross, so dass die Abstossung überwiegt, so haben wir den gasförmigen Zustand vor uns. Wenn durch äussere Umstände veranlasst, deren Möglichkeit noch besprochen werden soll, der Äther in andere Körper überströmt, so dass die Kerne sich mehr nähern können, so kann ein Zustand eintreten, in dem das Gleichgewicht der Kräfte hergestellt ist; der Körper ist flüssig. Bei noch weiterem Abnehmen des Äthers können sich die Kerne soweit nähern, dass die Anziehung fast allein in Betracht kommt; der Körper ist fest. So können die drei Aggregatzustände der Körper schon durch allgemeine Betrachtungen als notwendige Folgerungen des zu Grunde gelegten Gesetzes erklärt werden und es lässt sich vorstellen, wie, wenn äussere Bedingungen verändernd, bewegend auf ein solches Gruppensystem einwirken, eine mannigfache Art und Weise der Bewegungen der körperlichen und der Ätherpunkte stattfinden muss, die sich unserer Wahrnehmung verschieden darstellen und die wir darum mit verschiedenen Namen belegen.

Nach dem vierten Teile unseres Gesetzes stossen sich die Ätherpunkte gegenseitig ab. Sie werden dadurch, den körperlichen Punkten entgegengesetzt, zu einer Ausfüllung des ganzen Weltenraumes gelangen und werden durch ihre gegenseitige Abstossung einen Zustand der Ruhe in der allgemeinen Verbreitung zu finden suchen, in welchen sie, wenn sie gestört werden, wieder zurück zu gelangen streben. Sie bilden dadurch die Materie, welche die Optik längst als ein allgemein verbreitetes elastisches Fluidum ihren Rechnungen zu Grunde gelegt hat. Nur muss sich unser Äther etwas anders verhalten als das von der Optik postulierte Fluidum. Dieses soll aus getrennten repulsiven Punkten bestehen, deren Entfernung so gross ist, dass sie die Transversalschwingungen der einzelnen Punkte gestattet. Man spricht von Ätheratomen; haben aber die Punkte, also die unendlich kleinsten Teile eines Atoms, jeder für sich, die Kraft der Repulsion, und sie müssen diese nach dem Grundgesetze haben, so streben schon die Punkte sich immer mehr von einander zu entfernen. Ein Atom, jedes Integral von Punkten, zerteilt sich in seine unendlichsten Teile und jeder leere Raumteil wird von ihnen erfüllt werden.

Es ist also eine Raumerfüllung, wie ihn die Optiker gewöhnlich annehmen, nicht denkbar. Der Äther muss als ein Continuum gedacht werden, welches die Möglichkeit leerer Raumteile ausschliesst.

Hiernach giebt es in dem ganzen Weltenraume keinen noch so kleinen Teil, welcher nicht entweder von der attractiven oder der repulsiven Materie in wechselnder Dichtigkeit stetig erfüllt wäre.

Der allgemein verbreitete Äther ist jedenfalls ein, wenn auch ausserordentlich kleines, aber doch daseiendes Hindernis für die Bewegung der Weltkörper, denn er muss bei Seite geschoben werden. Vielleicht ist dieses Hindernis so klein, dass es bei den planetarischen Körpern nicht beobachtet werden kann und erst bei den Millionen Meilen langen Schweifen der Kometen zur Geltung gelangt.

Hiermit sind die Folgerungen aus dem Grundgesetz der Materie nur ganz allgemein angedeutet. Ehe im Folgenden zu der näheren Darlegung übergegangen wird, muss eine für die Rechnung notwendige mathematische Bezeichnung besprochen werden. Zwei Punkte A und B, deren Massen mit m_1 und m_2 bezeichnet werden sollen, haben eine Entfernung r ; ihre Wirkung auf einander wird, wenn k ein constanter Factor ist, welcher die Kraftgrösse in der Einheit der Entfernung bezeichnet, gegeben durch

$$P = k \frac{m_1 m_2}{r^2}.$$

Wird durch irgend einen Umstand vielleicht die Masse von A um ein unendlich Kleines grösser, so dass die Kraftgrösse um ein Differential sich verändert, zunimmt, so wird diese Veränderung, wenn A und B attractive Punkte sind, eine Verminderung der Entfernung zur Folge haben, im Falle der Repulsion eine Vergrösserung. Darum muss in allen Rechnungen, da dP und dr gleiche Zeichen für den Fall der Abstossung, entgegengesetzte für den der Anziehung haben, der Ausdruck

$$P = - k \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

die Anziehung und

$$P = + k \frac{m_1 m_2}{r^2}$$

die Abstossung ausdrücken.

Wir wollen noch hervorheben, dass wir nach dem Vorhergehenden also den Äther nach unserer Auffassung nicht mehr als

ein Imponderabil, als gewichtslos bezeichnen dürfen. Er folgt dem Gesetz der Schwere wie die Körper, wenn auch sein Gewicht in den Körpern vielleicht verschwindend klein ist. Mit dem Namen gebundener Äther soll derjenige Teil desselben, welcher durch die Anziehung eines Körperkerns als Hülle an diesem haftet und mit ihm ein Ganzes bildet — eine Dynamide wollen auch wir ein solches Ganzes nennen — bezeichnet werden; freier Äther sei der nicht gebundene Teil. Diese Namen schliessen sich an die Bezeichnungen einiger früheren Schriftsteller an.

§ 8.

Die Körper- und Äthermaterien sind in sich bis zur endlichen Grenze verdichtungs- und verdünnungsfähig.

In manchen Abhandlungen finden wir den Gedanken aufgestellt, dass die attractiven, körperlichen Punkte, falls sie nicht durch den trennenden Äther oder durch die tangential Wirkung ihrer Schwingkraft auseinander gehalten würden, sich zu einem einzigen Punkte von unendlicher Dichte zusammenballen würden. Wir müssen dieser Auffassung entgegentreten. Auch wurde schon in § 4 darauf hingewiesen, dass nach den Meinungen Einiger in der Formel

$$k \frac{m_1 m_2}{r_2}$$

nicht der Ausdruck des wahren Naturgesetzes von der Anziehung der Körper enthalten sein könne, denn er schlosse für den Fall, dass $r = 0$ also die Anziehung gleich ∞ , einen Widerspruch gegen das Gesetz von der Constanz der Kraft in sich. Beide Fälle können wir auf Grund obigen Ausdrucks gemeinsam behandeln.

Ziehen zwei Kugeln von den Radien r_1 und r_2 und den Massen m_1 und m_2 sich in der Entfernung e ihrer Mittelpunkte an und ist k der bekannte Coefficient für die Massen- und Entfernungseinheit, so ist die Wirkung der Kugeln auf einander gegeben durch

$$k \frac{m_1 m_2}{e^2}.$$

Berühren sich die Kugeln, ist damit $e = r_1 + r_2$, dann ist die Wirkung gleich

$$k \frac{m_1 m_2}{(r_1 + r_2)^2}.$$

Je kleiner die Kugeln werden und damit die Entfernung der Mittelpunkte, desto mehr nähern sich Zähler und Nenner dieses Ausdrucks dem Grenzwerte Null. Verschwinden sie bis zur Null, so haben wir in dem Grenzwerte $\frac{0}{0}$, wie bekannt, einen für jeden einzelnen Fall zu ermittelnden endlichen Wert und damit werden die zu Punkten gewordenen Körper zu einer endlichen Dichtigkeit vereinigt.

Weil also in der allgemeinen Formel $k \frac{m_1 m_2}{r^2}$ nie der Nenner Null werden kann, während der Zähler endlich ist, sondern weil dieser mit dem ersten Null wird, ist die Grenze der Verdichtungs-fähigkeit der Körper ein endlicher, wenn auch für jetzt nicht zu ermittelnder Wert.

Dieselbe Beweisführung gilt für den Fall der Abstossung der erfüllten Punkte. Es erreicht also auch in diesem Falle die Dün-nheit des Äthers einen endlichen Wert, der auch für jetzt nicht zu ermitteln ist. Es ist also weder von einem unendlich dichten Körper noch von einem unendlich dünnen Äther zu reden und auch nicht von einer unendlich grossen Kraft der Wirkung in nächster Nähe.

Bemerkt soll noch werden, dass fürderhin die Bezeichnung δ für die allgemeine, von äusseren Einflüssen abhängige Dichtigkeit des Äthers, ∂_0 dagegen für die constante Dichtigkeit im allgemeinen Raum, welche sich nur durch den Einfluss des freien Äthers gestaltet, d für die der Körper gebraucht werden soll; ebenso soll mit k die Wirkung der Anziehung für die Einheit der Massen und Ein-heit der Entfernung und mit h die der Abstossung unter gleichen Umständen bezeichnet werden.

§ 9.

Der Einfluss jeder im Raume, der mit Äther gleicher Dichtigkeit erfüllt ist, gelegten Ebene auf jeden Punkt des Raumes ist eine constante Grösse.

Es sollen im folgenden zuerst die Gesetze des allgemeinen freien Äthers aufgesucht werden, wie sie sich gestalten, wenn wir uns vorstellen, dass, wie oben gesagt, der gesamte unendliche Raum

mit einem Äther von gleichem Dichtigkeitszustand δ_0 erfüllt ist. Bezeichnen wir mit h die Wirkung der Massen-, d. i. der Dichtigkeitseinheiten in der Einheit der Entfernung, mit r die Entfernung, mit p die Kraftgrösse in dieser Entfernung, so ist, wenn wir durch A das rechtwinklige, dreiachsige Coordinatensystem legen, da

$$r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2}$$

ist, die Wirkung eines Punktes B auf A

$$dp = + h \delta_0 \frac{m \, dx \, dy \, dz}{x^2 + y^2 + z^2}.$$

Die auf die Achsen fallenden Componenten X , Y , Z erhalten wir, wenn dieser Ausdruck mit den Cosinussen der Winkel, welche r mit den Achsen bildet, multipliciert wird, also mit

$$\frac{x}{r}, \quad \frac{y}{r}, \quad \frac{z}{r}$$

und wenn dann das Integral dieses Ausdrucks über den gesamten Raum ausgedehnt wird. Es ist demnach

$$X = + m h \delta_0 \iiint \frac{x \, dx \, dy \, dz}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}^3},$$

$$Y = + m h \delta_0 \iiint \frac{y \, dx \, dy \, dz}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}^3},$$

$$Z = + m h \delta_0 \iiint \frac{z \, dx \, dy \, dz}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}^3}.$$

Der bestimmte Wert der Componenten lässt sich finden, wenn in irgend einem Punkte C der Y Achse die Ebene parallel der XZ Ebene gedacht wird, in welcher der Punkt B liegt. Ist CB gleich x , hat B die Ausdehnung dx , so ist die Wirkung von B auf A gegeben durch $+ m h \delta_0 \frac{dx}{r^2}$. Beschreibt man mit CB um C einen

Kreis, so ist die Wirkung dieses Kreises gleich $+ m h \delta_0 \frac{2 x \pi \, dx}{r^2}$,

und der auf die Y Achse fallende Anteil dY ist

$$dY = + m h \delta_0 \frac{2 x y \pi \, dx}{\sqrt{x^2 + y^2}^3}.$$

Dieser Ausdruck ist das Differential der gesamten Wirkung, welche die gedachte Ebene auf den Punkt A ausübt. Das Integral ist zwischen $x = \infty$ und $x = 0$ zu nehmen, wobei zu beachten, dass für den unendlichen, unbegrenzten Raum x und y vollständig von einander unabhängige Grössen sind und die Integration nach x

durchzuführen ist, als wenn y eine constante Grösse wäre. Es ist demnach, wegen

$$\int \frac{x \, dx}{\sqrt{x^2 + y^2}^3} = -\frac{1}{\sqrt{x^2 + y^2}},$$

$$dY = + 2 m h \delta_0 \pi y \int_0^\infty \frac{x \, dx}{\sqrt{x^2 + y^2}},$$

$$dY = + 2 m h \pi \delta_0 y \left\{ -\frac{1}{\sqrt{\infty^2 + y^2}} + \frac{1}{\sqrt{0^2 + y^2}} \right\},$$

$$dY = + 2 m h \pi \delta_0.$$

Es ist also der Zuwachs, $p = dY$, den eine solche zur Y-Achse rechtwinklige Ebene zur Componente Y liefert, eine constante Grösse. Also ist, wenn diese Ebene um die Grösse dy bewegt wird

$$dY = + 2 m h \pi \delta_0 \, dy.$$

Dieses Resultat hat für den ersten Eindruck etwas ungemein Überraschendes und scheinbar sich Widersprechendes. Bei näherer Betrachtung stellt sich aber die volle Wahrheit des Satzes bald dar. Denken wir uns von A ausgehend irgend einen Kegelraum, diesen in verschiedenen Entfernungen r_1 und r_2 von Ebenen senkrecht zur Achse des Kegels durchschnitten, so verhalten sich die Durchschnittskreise wie die Quadrate der Entfernungen. Sind diese Kreise mit Äther von gleicher Dichtigkeit erfüllt, so sind auch, da ihre Wirkungen sich ja umgekehrt wie die Quadrate der Entfernungen verhalten, die Gesamtwirkungen der Kreise auf den Punkt A gleich. In welcher Öffnungsweite wir uns auch den Kegel denken mögen, jede nahe Durchschnittsebene übt denselben Einfluss, wie jede fernere auf den erfüllten Punkt der Spitze aus, auch wenn der Öffnungswinkel sich bis zu zwei Rechten erweitert, d. h. wenn die Grundkreise des Kegels unendlich gross sind. Der obige Satz gilt also nur für den unbegrenzten Raum.

§ 10.

Der Einfluss des unbegrenzten Äthers auf einen Punkt des Raumes ist gleich dem Einfluss einer durch diesen Punkt gelegten Linie, deren Punkte, mit der Raumdichtigkeit erfüllt, sich mit gleicher Stärke unabhängig von der Entfernung abstossen.

Dieser Satz ist eine einfache Folgerung aus dem vorigen. Denken wir uns irgend einen Punkt A im Raume und durch diesen

eine beliebige Gerade gelegt und senkrecht zu dieser Geraden unendlich viele Ebenen, so ist der Einfluss jeder dieser Ebenen auf A eine constante Grösse, nach § 9 durch den Ausdruck $2\pi m h \delta_0$ gegeben. Durchschneiden die Ebenen die Gerade in den Punkten B, C, D u. s. w., so ist also die Wirkung jeder Ebene derart, als wenn diese Punkte mit der Dichte δ_0 erfüllt, jeden anderen Punkt mit der Stärke $2\pi h \delta_0$ abstiessen, also unabhängig von den Entfernungen A B, A C u. s. w. Wir haben diese Folgerung als besonderen Hauptsatz hervorgehoben, weil er die Integration der Wirkungen der erfüllten Raumpunkte auf einen einzelnen Punkt wesentlich erleichtert; denn wenn wir jedem Punkt der Y-Achse die Ausdehnung dy geben, so ist die in dieser Achse fallende Componente

$$Y = 2\pi m h \delta_0 \int dy.$$

Die Integration ist für den unendlichen Raum zwischen $+\infty$ und $-\infty$ vorzunehmen.

§ 11.

Der Druck des gesamten erfüllten Raumes ist nur von der Dichtigkeit der Erfüllung abhängig.

Dieser Satz ist so unmittelbar in den beiden vorigen enthalten, dass er keiner weiteren Begründung bedarf. Er ist nur, weil er für die folgenden Untersuchungen von hervorragender Wichtigkeit ist, nochmals ausdrücklich hervorgehoben worden.

§ 12.

Der Druck eines begrenzten Theiles des gesamten mit Äther erfüllten Raumes ist gleich dem Druck des unbegrenzten Äthers gleicher Dichte.

Dieser Satz schliesst nur für den ersten Anblick einen Widerspruch in sich. Er steht aber vollständig parallel dem Satze von dem Boden- und Seitendruck der Flüssigkeiten, welche Grössen bekanntlich nur von der Höhe und Dichtigkeit, nicht von der horizontalen Ausdehnung der Flüssigkeiten abhängen. Beide Sätze gehen von dem Grundsatz der Mechanik aus, dass Druck und Gegendruck für den Augenblick der Ruhe sich aufheben, also gleich sind.

Die Wirkung des gesamten Äthers haben wir in § 9 nach den drei Achsen zerlegt durch die Ausdrücke

$$X = m h \delta_0 \iiint \frac{x \, dx \, dy \, dz}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}^3},$$

$$Y = m h \delta_0 \iiint \frac{y \, dx \, dy \, dz}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}^3},$$

$$Z = m h \delta_0 \iiint \frac{z \, dx \, dy \, dz}{\sqrt{x^2 + y^2 + z^2}^3}.$$

gefunden.

Diese Werte sind also nach § 10 gleich den Ausdrücken

$$X = 2 \pi m h \delta_0 \int dx,$$

$$Y = 2 \pi m h \delta_0 \int dy,$$

$$Z = 2 \pi m h \delta_0 \int dz.$$

Die Integrationen sind für den unendlichen Raum zwischen $+\infty$ und $-\infty$ vorzunehmen und wir erhalten

$$X = 0, \quad Y = 0, \quad Z = 0,$$

also den Zustand der Ruhe. Um aber die Spannung, den Druck des Äthers in jedem Punkte des Raumes zu ermitteln, haben wir zu bedenken, dass ein Druck stets eine einseitige Wirkung einer Kraftgrösse ist, welchem wohl ein gleicher, aber entgegengesetzt gerichteter Druck aufhebend gegenüberstehen kann. Der zwischen zweien solchen Drucken liegende Punkt wird durch diese förmlich gepresst und die Grösse der Pressung ist gegeben durch den doppelten einseitigen Druck. Demnach ist, wenn wir den Druck, welchen der Punkt des Ursprungs des Systems, in der Richtung der Z-Achse einseitig erleidet, bestimmen wollen, dieser gegeben durch die Integration von $2\pi m h \delta \int dz$ zwischen ∞ und 0. Er ist also gleich

$$2 \pi h \delta_0 (m \cdot \infty - m \cdot 0).$$

Nun verschwindet $m \cdot 0$; es ist aber $m \cdot \infty$, weil das Massenteilchen m ein unendlich kleiner Wert ist, eine endliche, für jetzt nicht zu ermittelnde Grösse, deren Grösse, auf die Flächeneinheit bezogen und mit $2\pi h$ multipliciert, mit q bezeichnet werden mag, so dass also $q \delta_0$ den Druck des freien unbegrenzten Äthers angiebt.

Denken wir uns jetzt aus dem unendlichen Raum einen bestimmten Teil durch feste, unbewegliche, sonst aber einflusslose Grenzflächen abgetrennt und diesen Raumteil mit Äther von der

allgemeinen Dichte δ_0 erfüllt und ebenfalls den die Grenzen umgebenden übrigen allgemeinen Raum, so wird dadurch an dem Wirkungszustande, der vorhin gefunden worden, nichts geändert. Wir können uns auch ja nur denken, es würde eine feste Ebene irgend wohin in den erfüllten Raum hineingeschoben. Sie ändert an Druck in Grösse und Richtung nichts; sie empfängt von beiden Seiten her auf ihre Flächeneinheit den Druck, welchen wir durch $q\delta_0$ gegeben haben, und der Ruhezustand bleibt erhalten. Denken wir uns dann den Äther von der einen Seite der Ebene vollständig entfernt, so bleibt der einseitige Druck über. So lange die Ebene in sich fest genug ist, diesen Druck auszuhalten, d. h. ihn in gleicher Grösse als Gegendruck zurückzugeben, wird an der erfüllten Seite der Ebene nichts geändert. In jedem Punkte derselben herrscht ein Druck, als wenn er ein Punkt des vollständig unbegrenzten Raumes wäre. Ebenso, wenn wie vorhin, ein Teil des erfüllten Raumes vollständig fest begrenzt angenommen wird und wenn der umgebende Äther erst als daseiend, dann als entfernt gedacht wird. Es wird in letzterem Falle nichts am Drucke im Innern geändert sein. Es ist also, um den Druck in einem mit Äther von Dichte δ_0 erfüllten Raum zu finden, die Integration von $= 2\pi h m \delta \int dz$ nicht etwa zwischen den Grenzen des Raumteiles, sondern zwischen ∞ und 0 vorzunehmen, als wenn die Äthermenge zum unendlich erfüllten Raume gehöre. Der Gegendruck der Wände ist durch das gleiche Integral gegeben; er ersetzt förmlich den Druck des fehlenden, aussen seienden Teiles des erfüllten unendlichen Raumes.

Ebenso wie dieses Gesetz ist auch das hydrostatische Gesetz vom Boden- und Seitendruck der Flüssigkeiten zu beweisen. Wir stellen uns die Erde als eine vollständig feste Kugel vor, welche gleichmässig bis zu irgend einer Höhe von irgend einer Flüssigkeit umgeben ist. Im Innern der Flüssigkeit erleidet jeder Punkt nach allen Richtungen einen bestimmten Druck, welcher von der darüber lastenden Masse hervorgerufen und von den leicht verschiebbaren, nicht zusammenhängenden Molekülen der Flüssigkeit nach allen Seiten hin verbreitet wird. Die entgegengesetzten Drucke sind in jedem Punkte gleich und darum befindet sich alles im Zustande der Ruhe. Die Drucke sind also in jedem Punkte nur der Höhe und Dichte der Flüssigkeiten verhältnissmässig.

Denken wir, in eine solche Flüssigkeit wäre irgend eine feste

Ebene in irgend welche Richtung hineingeschoben, so wird auch diese nichts am Gleichgewichtszustande ändern, auch nicht, wenn wieder an der einen Seite der Ebene die Flüssigkeit als entfernt angenommen wird. Die Festigkeit der Ebene ersetzt den fehlenden Gegendruck und giebt den einseitig empfangenen Druck in gleicher Grösse zurück. So auch, wenn wir einen Teil der Flüssigkeit vollständig abgrenzen.

Die Punkte des Wassers in einem Gefässe drücken auf die Grenzflächen, als wenn sie Punkte einer Wassermasse wären, welche in entsprechender Höhe und Entfernung vom Mittelpunkt die ganze Erde umgiebt.

§ 13.

Die Beschleunigung eines gestörten Teilchens des Äthers ist der Ausschlagsgrösse verhältnisslich.

Nach § 11 ist der Druck eines begrenzten Teiles des Äthers der Dichte gerade verhältnisslich. Es sind Ursachen denkbar, welche einen Teil des Äthers verdichten, ihn in sich zusammenpressen und damit seinen Druck vergrössern. Denken wir uns als Ursache die Schwingung, den Stoss eines Körpermoleküls, welcher einen Teil des Äthers vor sich her in den nächstliegenden Raumteil schiebt und dadurch die Dichte desselben vergrössert. Wenn die Ursache aufhört, das Molekül zurückschwingt, werden in Folge des Druckes die einzelnen Ätherpunkte nach ihrer vorigen Lage zurückgetrieben. Ist ein irgendwie entstandener Raumteil fest umgrenzt, so wirkt der Druck des Äthers potentiell als Druck gegen die einschliessenden Wände, wird die Begrenzung weggenommen, so setzt sich der Druck in actuelle Energie, in Beschleunigung der Geschwindigkeit des bewegten Teiles um. Die Grösse der Beschleunigung erfahren wir, wenn wir nach § 11 und 12 das Zusammenpressen eines Raumteils des Äthers in das Zusammenpressen der mit gleicher Dichtigkeit erfüllten Punkte einer Linie umsetzen. Werden die mit der Dichte δ_0 erfüllten Punkte der Linien a und b in je eine Einheit zusammengepresst, so werden die Ätherdichten derselben $a\delta_0$ und $b\delta_0$ werden, und es wird, wenn X_1 und X_2 die beschleunigenden Kräfte sind, stattfinden

$$X_1 : X_2 = a : b.$$

§ 14.

Die Schwingungen eines gestörten Teilchens des Äthers finden nach den Gesetzen der Sinusoide statt.

In irgend einen Punkte U denken wir uns das Coordinatensystem gelegt. Der den Punkt U umgebende Teil des erfüllten Raumes sei in der Richtung der Y-Achse um eine kleine Strecke, a bezeichnet, verschoben. Nach der vorigen Darlegung wird der unterste, um a verschobene Punkt mit einer Kraft dieser Grösse entsprechend nach dem Ursprung des Systems hin zurückgestossen. Nennen wir diese Grösse g . Sie ist jetzt, da sie gegen U hin gerichtet ist, negativ zu nehmen. Für jeden andern Ausschlag y ist sie demnach $-\frac{g}{a}y$. Dieser Druck wirkt für den Fall der Bewegung als Beschleunigung der Geschwindigkeit, welche die Gesetze der analytischen Mechanik als den zweiten Differentialquotienten des Weges nach der Zeit t genommen bestimmen. Also ist

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -\frac{g}{a}y.$$

Multiplizieren wir mit $2dy$ und integrieren, so ist

$$\left(\frac{dy^2}{dt}\right) = -\frac{g}{a}y^2 + \text{Const.}$$

Da aber $\frac{dy}{dt}$ die Geschwindigkeit im Zeitmomente dt ausdrückt, muss die Constante, weil die Bewegung mit $y = a$ beginnt, die Geschwindigkeit in diesem Augenblicke gleich Null ist, gleich $+ga$ sein. Darum ist

$$\frac{dy}{dt} = \sqrt{\frac{g}{a}} \sqrt{a^2 - y^2},$$

und

$$\frac{dy}{\sqrt{a^2 - y^2}} = \sqrt{\frac{g}{a}} \cdot dt.$$

Daraus ergibt sich

$$\arcsin \frac{y}{a} = \sqrt{\frac{g}{a}} \cdot t + \text{Const.}$$

Die Constante verschwindet, wenn wir die Zeit von dem Augen-

blicke an nehmen, in welchem das Teilchen die Ruhelage passiert, also mit $y = 0$ auch $t = 0$ ist. Es ist weiter

$$y = a \sin \sqrt{\frac{g}{a}} \cdot t.$$

Wird die Zeit einer Schwingung mit $\mathcal{J}$ bezeichnet, so ist für den Ausschlag $y = a$, die Zeit $t = \frac{\mathcal{J}}{4}$ und $\arcsin \frac{y}{a}$ für diesen Moment gleich $\frac{\pi}{2}$; also ist $\sqrt{\frac{g}{a}} = \frac{2\pi}{\mathcal{J}}$, und die Gleichung heisst

$$y = a \sin \frac{2\pi}{\mathcal{J}} \cdot t.$$

Wir sind hiemit auf dem Standpunkt, von welchem aus die Optik ihre Deduction beginnt.

§ 15.

Die Folgerungen der Optik führen zu demselben Ergebnis.

Die heutige Optik erfordert die Annahme eines allverbreiteten elastischen Fluidums in der Unendlichkeit des körperleeren Weltenraumes wie in den Zwischenräumen der Körper selbst. Die Transversalschwingungen desselben bringen in unserer Empfindung diejenige Wirkung hervor, welche wir Licht nennen. Den Äther nennt die Wissenschaft dieses Fluidum und sie erteilt ihm vor Allem die Eigenschaft der Elasticität, gleichartig im allgemeinen Weltenraume, verschieden in den Poren durchsichtiger Körper. Dieser Lichtäther ist jetzt das einzige noch übrige Imponderabil von den vielen, welche die frühere Physik für nötig erachtete, um die Aggregatzustände, die Wärme, den Magnetismus und die Electricität zu erklären. Die kinetische Gastheorie ist auf dem besten Wege, auch über dieses letzte Überbleibsel früherer Anschauungen den Stab zu brechen, wenn es ihr auch nicht gelingt, etwas Anderes zur Erklärung der Lichterscheinungen an die Stelle zu setzen. Wir haben die Gründe entwickelt, welche uns bewegen, an die naturnotwendige Existenz dieses Mediums zu glauben und gezeigt, wie die Lichterscheinungen sich als mathematische Folgerung des allgemeinen Grundgesetzes der Materie ergeben.

Die Optik schlägt zur Begründung ihrer Hypothesen etwa folgenden Gedankengang ein:

1. Das Licht ist ein Bewegungszustand, denn es bedarf der Zeit.

Durch die Beobachtungen der Verfinsterungen der Jupitertrabanten, durch die Feststellung der Aberration der Gestirne, welche um Mitternacht culminieren, welche stets gleich 20, 25'' ist, durch den Versuch Fizeaus ist festgestellt, dass die Geschwindigkeit des Lichtes aller Gestirne und auch des Lichtes irdischer Quellen ungefähr 42000 Meilen in der Secunde beträgt. Es folgt aus dieser gleichartigen Zahl, dass diese Geschwindigkeit weder von der Natur der leuchtenden Quellen, noch von der Entfernung derselben abhängig ist; sie kann sich also nur aus der Natur des vermittelnden Mediums ergeben, ähnlich wie die Geschwindigkeit des Schalles nicht von der Intensität der Quelle, noch von der Entfernung derselben, sondern nur von der Elasticität der Luft abhängt.

Das Licht gebraucht Zeit, folglich ist es eine Bewegung; es muss darum etwas da sein, was sich bewegt. Dieses Etwas muss im ganzen Weltenraume gleichmässig vorhanden sein, denn überall ist Licht; es muss sich selbst in den Körpern befinden; denn alle Körper sind, wenn auch oft nur in den dünnsten Blättchen, durchsichtig, wenigstens durchscheinend. Diese Materie darf nicht, wenigstens nicht allein, der Gravitation unterliegen, denn sonst würde sie im Verlauf der Zeit von den Weltkörpern angezogen, um diese eine Art Hülle bilden und der Weltenraum würde absolut leer werden und das Licht würde aufhören zu sein.

2. Der Bewegungszustand, welchen wir Licht nennen, muss so beschaffen sein, dass er sich in periodischen gleich- und entgegengesetzten Phasen wiederholt.

Die Interferenz und Beugungserscheinungen thun dar, dass zwei Lichtstrahlen, welche nahezu aus derselben Richtung kommen, sich gegenseitig verstärken, wenn ihre Längen um eine gewisse kleine Strecke oder deren Vielfaches verschieden sind, dass sie sich aufheben, wenn diese Längen um die ungeraden Vielfachen der halben gedachten Strecke von einander abweichen. Mit der Erkenntnis dieser Thatsachen war der Sieg der Undulations- über die Emanations-Theorie entschieden, welche letztere nur eine einfache geradlinige Fortbewegung der Lichttheilchen kannte.

3. Der Bewegungszustand, welchen wir Licht nennen, muss ein derartiger sein, dass er für den directen Strahl nach allen Seiten auf die Strahlrichtung bezogen, gleich-

artig, unter bedingenden Umständen dagegen nach zwei entgegengesetzten Seiten geordnet, polarisiert, also in einer Ebene auftritt.

Die unter gewissen Winkeln, welche von der Natur der reflectierenden Körper abhängen, zurückgeworfenen, sowie die doppelt gebrochenen Strahlen zeigen die bestimmte Eigenschaft, dass die fraglichen Bewegungszustände nur in einer Ebene stattfinden, während sie sonst im Raum nach allen Seiten hin auftreten. Es kann darum die Erklärung dieser Bewegungen sich darauf beschränken, den Zustand dieses polarisierten Strahls zu untersuchen, aus welchem sich der des directen unmittelbar ergibt.

Die Optik schliesst aus dieser periodischen Wiederkehr derselben Bewegungserscheinungen, dass der mathematische Ausdruck derselben durch die Formel

$$y = a \sin \frac{2 \pi}{\vartheta} t$$

gegeben ist, wobei y den Ausschlag, t die Zeit, ϑ die Zeit einer Vibration und a die Amplitude bedeutet. Die analytische Mechanik lehrt den Ausdruck $\frac{dy}{dt}$ für die Geschwindigkeit, $\frac{d^2y}{dt^2}$ für die Beschleunigung im Zeitmomente dt kennen. Es ist demnach

$$v = \frac{dy}{dt} = a \frac{2 \pi}{\vartheta} \cos \frac{2 \pi}{\vartheta} t$$

und

$$g = \frac{d^2y}{dt^2} = -a \left(\frac{2 \pi}{\vartheta} \right)^2 \sin \frac{2 \pi}{\vartheta} t$$

oder

$$g = - \left(\frac{2 \pi}{\vartheta} \right)^2 y,$$

d. h. die Elasticitätskräfte des Lichtäthers müssen derartig beschaffen sein, dass ein aus seiner Ruhelage herausgetretenes Teilchen mit einer Beschleunigung, welche seinem Ausschlage verhältnissmäßig ist, in dieselbe zurückkehrt.

Auf Grund dieser Annahme entwickelt die Optik auf rechnendem Wege die gesamten Erscheinungen, welche die Lichtstrahlen darbieten müssen; die Resultate dieser Deduction entsprechen mit einer solchen Vollkommenheit allen in Wirklichkeit stattfindenden beobachteten Erscheinungen, dass ein innerer Zweifel an der Richtigkeit der Grundlage kaum mehr statthaft ist. Unsere Wissenschaft darf

mit Zuversicht behaupten, dass sie in der Optik eine zweite, ebenso wahre deductive Wissenschaft geschaffen hat, wie in der Mechanik auf Grund des Attractionsgesetzes.

§ 16.

Die Entstehung des Schattens ist nur in einem vom Äther stetig erfüllten Raume möglich.

Wir nehmen an, es sei irgend ein Ätherpunkt durch eine äussere Ursache in Schwingung versetzt; es entsteht also Licht. Diese Schwingungen werden von der erregenden Stelle aus in concentrischen Schichten weiter verbreitet, so dass jede Schicht die lebendige Kraft ihrer Bewegung an die nächstfolgende und diese wieder an die folgende und so weiter abgibt. Ein schwingendes Teilchen wird aber nach dem Gesetze der Beharrung seine einmal erhaltene Bewegung unverändert beibehalten, wenn nicht irgend ein Hindernis, an welches es seine Bewegungsgrösse abtreten kann, es allmählich zur Ruhe bringt, so wie ein einmal in Bewegung gesetztes Pendel seine Schwingungen in Ewigkeit beibehalten würde, wenn nicht Luftwiderstand und Reibung es allmählich zur Ruhe brächten.

Die zur Begründung der Optik aufgestellten Hypothesen setzen aber bisher, von Cauchy wohl zuerst ausgehend, stets einen Ätherzustand voraus, in welchem die einzelnen Ätherpunkte sich in solchen Entfernungen von einander befinden, dass die Schwingungen eines einzelnen Punktes unbehindert stattfinden können. Einzelne für sich abgesonderte Punkte sind aber nicht ohne eine gewisse räumliche Ausdehnung derselben denkbar; es sind Ätheratome, welcher Begriff auch vielfach aufgestellt wird. Eine solche Vorstellung verträgt sich aber nicht mit dem Wesen des Schattens, der Ruhe des Äthers.

Wir haben in § 6 darauf hingewiesen, dass sich die Vorstellung abgesonderter Ätheratome nicht mit den Folgerungen des allgemeinen Grundgesetzes der Materie verträgt. Der Äther muss eine stetig seinen Raum erfüllende Grösse sein. Ein verdichteter Raumteil desselben stösst seine Punkte mit einer der Ausschlagsgrösse verhältnissmässigen Beschleunigung der Bewegung zurück, aber gegen einen von dünnerem Äther erfüllten Raumteil. Darum wird die mit a bezeichnete anfängliche Ausschlagsgrösse in dem Verlauf der Zeit nach jeder vollendeten Schwingung eine jedesmalige Verkleinerung erleiden.

Die Abnahme ist von dem Unterschiede der Verdichtung und Verdünnung und von der Zeit abhängig und es ist darum, da die erste Grösse constant und ihre Wirkung durch g^1 bezeichnet werden soll,

$$\frac{dz}{dt} = -g^1 z$$

da wir vielleicht annehmen dürfen, dass jede Veränderung des Ausschlags dem Ausschlage verhältnissmässig ist. Es folgt wegen

$$\frac{dz}{z} = -g^1 dt$$

$$\log z = -g^1 t + \text{Const. . .}$$

Da beim Beginn der Zeit die Ausschlagsgrösse a ist, ist die Constante gleich $\log a$.

Darum ist

$$z = a e^{-g^1 t},$$

und es muss die Lichtgleichung demnach die Form

$$y = a e^{-g^1 t} \sin \frac{2\pi}{\mathcal{J}} t$$

annehmen. Diese Gleichung schliesst wenigstens mit dem Begriff der fortschreitenden Bewegung des Lichtes den der Entstehung des Schattens in sich. Sie stimmt überein mit der Vorstellung, welche wir uns vom Werden des Schattens zu machen haben, dass dieser in Wirklichkeit erst in unendlicher Zeit stattfindet, für die Wahrnehmung natürlich sehr bald, wie die Erfahrung auch lehrt.

Sobald also der Zuwachs an Bewegungsgrösse, welcher von der Lichtquelle ausgeht, durch ein dazwischentretendes Hindernis aufgehoben wird, schwingen die erregten Teile mit abnehmender Ausschlagsgrösse weiter und bald werden sich diese der Beobachtung entziehen. Ob es je gelingen wird, dieses verspätete Eintreten des Schattens beobachten zu können, bleibe dahingestellt. So kann z. B. die Spitze des Mondschattens nicht die Spitze des geometrischen Kegels des der Sonne und Erde gemeinschaftlichen Tangentenkegels sein, auch nicht, wenn man die durch die Beugung des Lichtes hervorgerufene Veränderung in Rechnung bringt, sondern sie muss hinter dem Monde her gezogen werden.

§ 17.

Die Ätherhülle eines ruhenden Atoms erstreckt sich mit abnehmender Dichtigkeit bis ins Unendliche.

Wir haben schon bei der Aufstellung des Grundgesetzes hervorgehoben, wie sich Körper- und Äthermaterie gegenseitig verhalten müssen: die erste zieht die zweite an, diese stösst die erste ab. Drängt sich eine gewisse Menge körperlicher Materie, vermöge der gegenseitigen Anziehung ihrer einzelnen Punkte in ein Atom zusammen, welches, wenn eine solche Bildung ohne weitere Störung von aussen her stattfindet, die einfachste und gleichmässigste aller Körperformen, also die Gestalt einer Kugel haben wird, so wird dieses Atom wieder sammelnd und verdichtend auf den ihn umgebenden Äther einwirken. Es möge, um diesen Fall in seiner grössten Einfachheit vor Augen zu haben, gedacht werden, dass in den allgemeinen, mit Äther von gleicher Dichtigkeit erfüllten Raum plötzlich eine Kugel von körperlicher Materie gesetzt würde. Der allgemeine Äther hat vorher eine endliche, mit δ_0 bezeichnete Dichte, der Körper die Dichte d . Seine Grösse sei durch den Radius ϱ , seine Masse mit m , die Grösse der Anziehung derselben an seiner Oberfläche mit g gegeben. Die wirkliche Grösse und Masse eines Atoms zu bestimmen, sind wir nicht im stande, wir kennen nur verhältnissliche Werte, welche aber für die Lösung der vorliegenden Aufgaben genügen. Einzelne Versuche, die absoluten Werte zu berechnen, lassen wir dahin gestellt.

Die Kugel wird also auf den Äther sammelnd, je nach der Entfernung mehr oder weniger verdichtend einwirken; der Äther wird wieder pressend, zusammendrückend auf die Kugel einwirken. Diese Wirkungen bestimmen ausser der gegenseitigen Anziehung der körperlichen Punkte die Grösse, Dichte und Masse der Kugel, deren endlicher Wert schon mit ϱ , d und m bezeichnet sind. Wir haben also nur noch die Einwirkung der Kugel auf den Äther zu untersuchen.

Wir legen uns zu dem Zwecke in den Mittelpunkt U der Kugel das dreiachsige rechtwinklige Coordinatensystem und betrachten den Zustand eines Punktes A in der Z -Achse. Die auf diesen Punkt wirkende Kraftgrösse ist durch ihre Componenten

$$X = 0, Y = 0, Z = -k^1$$

gegeben, da die nach den X- und Y-Achsen gerichteten Kräfte sich in sich aufheben und nur die nach dem Mittelpunkt der Kugel, dem Ursprung des Systems hin gerichtete übrig bleibt. Diese Kraftäusserung k^1 in Entfernung z , ist aber bestimmt durch

$$k^1 = - \frac{g \varrho^2}{z^2}.$$

Also ist der von der Kugel auf den Punkt A von der Ausdehnung dz und der in diesem Punkte stattfindenden Ätherdichte δ in der Richtung der Z-Achse nach U hin ausgeübte Zugzuwachs dp

$$dp = - \frac{g \varrho^2 \delta dz}{z^2}.$$

Dieser Zug ist aber, da der Zustand der Ruhe vorausgesetzt sein soll, gleich der in diesem Punkte herrschenden Spannung des Äthers, und da wir diesen auf die Flächeneinheit bezogen mit $q\delta$ nach § 12 zu bezeichnen haben, ist wegen

$$\begin{aligned} p &= q \delta \\ dp &= q d\delta \end{aligned}$$

Also ist

$$\frac{d\delta}{\delta} = - \frac{g \varrho^2}{q} \cdot \frac{dz}{z^2}$$

und deshalb, wenn wir integrieren,

$$\log \delta = \frac{g \varrho^2}{q} \cdot \frac{1}{z} + \text{Const.}$$

In der unendlichen Entfernung verschwindet der anziehende, verdichtende Einfluss der Kugel und deshalb ist für $z = \infty$, die Dichte $= \delta_0$, oder die Constante $= \log \delta_0$. Darum ist

$$\log \frac{\delta}{\delta_0} = \frac{g \varrho^2}{q} \cdot \frac{1}{z}$$

und darum

$$\delta = \delta_0 e^{\frac{g \varrho^2}{q} \cdot \frac{1}{z}}.$$

Da δ die Ätherdichte in der Entfernung z vom Ursprunge an giebt, ist sie an der Oberfläche der Kugel, wo $z = \varrho$ ist, bestimmt durch

$$\delta_0 e^{\frac{g \varrho}{q}},$$

$$\text{oder, da } g = \frac{4}{3} \pi \varrho k \cdot d \text{ und } m = \frac{4}{3} \pi \varrho^3 d$$

ist, auch gegeben durch

$$\delta_0 e^{\frac{m}{\varrho} \cdot \frac{k}{q}}.$$

§ 18.

Die Kuben der Radian rotierender Dynamiden sind den Quadraten der Rotationszeiten verhältniss.

Im Zustande der Ruhe gestaltet sich also nach voriger Darlegung das gesamte Weltall als eine unendliche, aber doch in sich zusammengehörige Dynamide, wenn nur eine einzige anziehende, hüllenbildende Kugel als Mittelpunkt des Ganzen gedacht wird. Die Dichte der Hülle und damit ihr Druck ist in jedem Punkte derselben von der Dichte und Grösse des Centralkörpers abhängig. Sind mehrere anziehende Atome als Centralkörper der Dynamiden gegeben, so bildet jedes derselben sich nach demselben Gesetze ihre Hülle und es ist jeder Punkt des Äthers gleichzeitig ein Punkt jeder Hülle und die in ihm seiende Dichtigkeit und damit der Druck des Äthers ist alsdann gleich der Summe der einzelnen Dichtigkeiten und der Drucke, welche in diesem Punkte den verschiedenen Hüllen zukommen. Wenn auch unendlich viele Centralkörper gedacht werden, so ist doch ein jeder mit seiner Hülle ein integrierender Bestandteil jeder anderen Dynamide.

Anders gestaltet sich die Natur jeder einzelnen Dynamide und der Zusammenhang der vielen Dynamiden unter sich, wenn wir annehmen, dass jede von ihnen sich, durch irgend einen äussern Antrieb veranlasst, in einem Umschwung, einer Rotation um eine einer jeden Dynamiden vielleicht selbständig zukommenden Rotationsachse befindet. Die Annahme einer Rotation der kleinsten Körperteilchen, der Atome und Moleküle, ist durchaus naturgemäss. Die Erfahrung lehrt, dass allen uns bekannten, grösseren und kleineren Weltkörpern eine Rotation innewohnt.

Die Gesetze der Mechanik bestimmen, dass, wenn durch Anstösse irgend welcher Art, Körper in Bewegung versetzt werden, zugleich mit den fortschreitenden Bewegungen rotierende auftreten müssen, denn centrale Stösse sind nur in verschwindend kleiner Möglichkeit denkbar gegenüber den nicht centralen. Weil bei den Umsetzungen der Bewegungen jede Art der Bewegung als seiend oder entstehend angesetzt werden muss und weil jeder Augenblick der Bewegungen die Ursache der Bewegungen des folgenden Augenblicks sind, dürfen wir die Rotationen auch der kleinsten Körperteilchen der Dynamiden als von jeher daseiend, nur veränderlich vielleicht in Grösse und Richtung, voraussetzen.

Betrachten wir zuerst wieder die gedachte Bewegung in ihrer

grössten Einfachheit. Eine einzelne Dynamide in Rotation seiend, soll untersucht werden. Jede Umschwungsbewegung ist das Resultat der Tangentialkraft und der Centripetalkraft. Die Ursache der ersten ist der Antrieb, der sich aus den Bewegungen des dem untersuchten Augenblick der Bewegung vorhergehenden Augenblicks ergibt; die Ursache der zweiten Kraft ist die dem Centralkörper innewohnende Anziehungskraft. In Folge der Tangentialkraft strebt der Körper, sich vom Mittelpunkte zu entfernen; die Centrifugalkraft ist nur eine Äusserung der Tangentialkraft. Die Centrifugalkraft als Kraft, wie oft gebräuchlich, aufgefasst, ist unrichtig; denn sie ist doch nur gegeben durch das Abweichen eines angetriebenen Massenteilchens von einem ausser seiner Bahn liegenden Punktes, der, wenn er nicht die anziehende Kraft besässe, mit seiner Bewegung infolge eines frühern Stosses nichts zu schaffen hat, und seine Bahn ist die Folge der ihm inne wohnenden Beharrung. Wir behalten aber den Namen für die Grösse der Abweichung bei, weil er gebräuchlich ist.

Jeder um einen andern Punkt sich in einer gewissen Zeit bewegender Punkt strebt also infolge der Centrifugalkraft sich von ihm zu entfernen, infolge der Centripetalkraft sich ihm zu nähern; er bleibt in seiner kreisförmigen Bahn, wenn beide Kräfte im Gleichgewicht stehen.

Um den Punkt des Gleichgewichts in der Hülle einer rotierenden Dynamide festzustellen, legen wir wieder in den Mittelpunkt U einer aus körperlichen Punkten bestehenden Kugel vom Radius ϱ und Dichte d und von einer durch g gegebenen Anziehung an seiner Oberfläche das dreiachsige rechtwinklige Coordinatensystem. Ein Punkt A auf der Z-Achse, durch $UA = z$ bestimmt, sei der Punkt des Gleichgewichts. Die X-Achse sei die Rotationsachse. Es ist dann für die Rotationszeit t nach bekannten Gesetzen der Mechanik das Gleichgewicht der genannten Kräfte durch die Gleichung

$$\frac{4 \pi^2 r}{t^2} = \frac{g \varrho^2}{r^2}$$

gegeben und damit

$$r^3 = \frac{g \varrho^2}{4 \pi^2} t^2 .$$

Drücken wir g wieder durch Grösse und Masse des Centralkörpers aus, also

$$g = \frac{4}{3} \pi \varrho k d$$

und

$$m = \frac{4}{3} \pi \varrho^3 d,$$

so ist

$$r^3 = \frac{m k}{4 \pi^2} t^2.$$

Ist B ein anderer Punkt in der Grenzfläche des Gleichgewichts und in der XZ-Ebene, so ist seine Centrifugalkraft gegeben durch den Ausdruck $\frac{4 \pi^2 z}{t^2}$ und die Anziehung nach dem Mittelpunkte des Systems hin gerichtet durch $\frac{g \varrho^2}{x^2 + z^2}$. Der auf die Richtung der Z-Achse fallende Anteil der Anziehung, welcher also der Centrifugalkraft entgegen gerichtet ist, ist bestimmt durch

$$\frac{g \varrho^2}{x^2 + z^2} \cdot \frac{z}{\sqrt{x^2 + z^2}}.$$

Der Gleichgewichtszustand ist bedingt durch die Gleichung

$$\frac{4 \pi^2 z}{t^2} = \frac{g \varrho^2 z}{\sqrt{x^2 + z^2}^3}.$$

Das ergibt nach vorhin angegebener Einsetzung des Wertes von g

$$\sqrt{x^2 + z^2}^3 = \frac{m k}{4 \pi^2} t^2.$$

Also wie vorhin. Es ist $\sqrt{x^2 + z^2} = r$, oder die Grenze einer rotierenden Dynamide ist die durch den Radius $\sqrt[3]{\frac{m k}{4 \pi^2}} t^2$ bestimmte Kugelfläche gegeben; d. h.

Die Kuben der Radien rotierender Dynamiden verhalten sich wie die Quadratzahlen der Rotationszeiten derselben.

Die Dichte einer rotierenden Hülle verläuft also nicht allmählich abnehmend bis in Unendliche, sondern bis zu einer endlichen Grenze und einer bestimmten Grösse, welche durch Einsetzen von $r = z$ in die Dichtigkeitsformel des § 17 gefunden werden kann. Sie ist von der Zeit t abhängig. Setzen wir $t = \infty$, d. h. ist jeder Augenblick der Bewegung der Augenblick der Ruhe, so wird auch $r = \infty$, wie es die vorhergehende Betrachtung ergab. Es sind überhaupt die Gesetze der Statik aus denen der Dynamik zu entnehmen, wenn gesetzt wird, dass der Zeitgebrauch für einen endlichen Weg gleich unendlich ist; denn dann ist jeder gedachte Augenblick der Augenblick der Ruhe.

§ 19.

Die infolge der Rotation in den Hüllen entstehenden Strömungen sind gegen den Äquator hin gerichtet.

In voriger Untersuchung ist bei der Berechnung der Einwirkung der Schwere auf einen Punkt der Hülle die der X-Achse parallel gerichtete Componente vernachlässigt worden. Jetzt wollen wir diese untersuchen. Ihr mathematischer Ausdruck ist gegeben durch

$$\frac{g \varrho^2}{x^2 + y^2} \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}},$$

oder, nach der Bedeutung von g , durch

$$m k \cdot \frac{x}{\sqrt{x^2 + y^2}^3}.$$

Mit dieser Beschleunigung, welche also von der Umdrehungszeit unabhängig und nur der Masse verhältnissmäßig ist, bewegt sich der Punkt B nach A hin, die tiefer liegenden Punkte wegen der zunehmenden grösseren Anziehung und nach obigem Ausdruck noch schneller. Auf der andern Halbkugel ebenfalls. Es entstehen also als Folge der Rotation Strömungen gegen den Äquator hin, in deren Folge die Hülle an den Polen abgeplattet wird. Eine Hülle im sonst leeren Raume würde es werden. Im erfüllten Raum wird aber der Centalkörper stets von neuem den freien Äther nach den Polen hin zu seiner Hülle heranziehen und diese wird stets nach dem Äquator hinfließen, sich zusammendrängen, nach oben steigen, die Grenze der Dynamide durch die eigenen Druckkräfte überschreiten und fortgeschleudert werden. So finden durch die Masse bedingte, fortwährend entgegengesetzte Strömungen in den Hüllen und ausgleichende Bewegungen ausserhalb derselben statt. Im Äquator der Grenzfläche der Dynamide finden beständige Ausströmungen im Sinne der Rotation statt, aber wegen der geringen Geschwindigkeit relativ entgegengesetzt.

Bei kleinen wie bei grossen Atomen finden dieselben Folgerungen statt. Die Grenze der Erdhülle befindet sich in 6,6 Erdradien, die der Sonne in 35,3 Sonnenradien Entfernung. Auch in ihren Hüllen müssen solche Strömungen des Äthers stattfinden, denen die massenhafteren Körperatome der Atmosphären langsamer folgen. Es sollen die in Erscheinung fallenden Wirkungen dieser Strömungen hier noch nicht weiter verfolgt werden, aber es kann angedeutet werden, dass der Erdmagnetismus, d. i. die Erdelektricität, vielleicht das

Zodiakallicht, welches in den Äquinoclien namentlich hervortritt, in diesen Strömungen und Ausscheidungen ihren Ursprung haben. Nach den Meinungen Einiger sollen Kometen noch stets neu aus der Sonnenatmosphäre abgesondert werden. Vielleicht wäre eine solche Thatsache auch hiermit zu vereinbaren.

Weiter muss noch hervorgehoben werden, dass diese gegen den Äquator gerichteten Strömungen, da sie beständig aus Breiten (auch für Atomkugeln können wir uns der bekannten geographischen Bezeichnungen bedienen) geringerer Umschwingungsgeschwindigkeiten in solche grösserer Geschwindigkeiten übergehen und gegen diese zurückbleiben, sich in Strömungen umsetzen, welche dem Sinne der Rotation entgegen, sich dem Äquator je nach der Grösse der Rotationsgeschwindigkeit mehr oder weniger gleichlaufend richten.

Die Strömungen werden, von den Polen her betrachtet, zu rechts- und linksgewundenen Schraubengängen, nach der elektrischen Benennungsweise zu recht- und rückläufigen Strömen.

§ 20.

Die Ursachen der Aggregatzustände sind in den verschiedenen grossen Rotationsgeschwindigkeiten der Dynamiden zu suchen.

Die Kuben der Radien der Hüllen rotierender Dynamiden verhalten sich also bei gleichen Massen wie die Quadrate der Rotationszeiten. Denken wir uns eine Anzahl ruhender Dynamiden, von denen jede für sich eine bis ins Unendliche reichende Hülle um sich bildet, so schwimmen diese förmlich jede in den Hüllen der andern. Durch irgend welche Ursachen, Stösse etwa, sollen sie in Rotation versetzt gedacht werden. Je langsamer die Rotation, desto grösser die Hüllen, desto grösser die Summe der abstossenden Kräfte gegenüber den anziehenden der Kerne. Wenn wir früher nur im allgemeinen bei der Betrachtung der Aggregatzustände von den verschieden grossen Hüllen und ihren Wirkungen sprachen, so finden wir hier schon einen nähern Anhaltspunkt, uns die Möglichkeit der Entstehung derselben zu erklären. Es bestehen demnach die Gase aus Dynamiden mit geringer, feste Körper aus solchen mit grosser Rotationsgeschwindigkeit. Die flüssigen Körper bilden nur eine Übergangsstufe.

Ausser den eigenen Kräften der Kerne und ihrer Hüllen ist gewiss der äussere Druck, mag er der Druck der umgebenden Luft,

des allgemeinen Äthers oder der zusammenpressende Einfluss des Centralkörpers sein, als welchem wir uns den jedesmaligen Weltkörper denken, ein bestimmender Faktor der äusseren Form des Körpers. So können wir uns z. B. vorstellen, es würde ein Quantum unserer Luft plötzlich, ohne dass sonst etwas an ihrem innern Zustande geändert würde, auf die Sonnenoberfläche versetzt gedacht. Unter dem vielmal grössern Druck der dortigen Atmosphäre, unter dem grössern Einfluss der Anziehung der Sonne, welche die Schichten der Dynamiden von oben nach unten hin zusammenzieht, wird die Dichtigkeit dieses Luftquantums eine grössere werden, vielleicht wird die Form desselben gar flüssig werden. Auf andern Weltkörpern anders. Es sind jedenfalls die Dichtigkeits- und damit die Formzustände der Körper nicht nur von ihren eigenen innern Kräften, sondern auch von den Kräften des zugehörigen Weltkörpers, mit dem sie ein Ganzes bilden, abhängig.

§ 21.

Der Druck der Gase ist dem Volumen umgekehrt, der Dichte gerade verhältlich.

Dieses längst bekannte Hauptgesetz der Gase, das Mariotte'sche, erklärt sich jetzt einfach. In seiner vollen Wahrheit gilt es nur, wie oft gesagt wird, für ein ideales Gas. Die wirklichen Gase zeigen die bekannten Abweichungen. Ein ideales Gas ist aber nach dem Grundgesetz der Materie der reine Ätherzustand. Der Druck eines aus dem allgemeinen Äther durch irgend welche Grenzen abgeschnittenen Teils ist nach früheren Darlegungen nur der Dichte verhältlich und messbar durch die Grösse einer Linie, deren Punkte mit der Raumdichtigkeit δ erfüllt, sich unabhängig von der Entfernung abstossen. Denken wir uns nun dieses Volumen durch äusseren Zwang mit einer n -fachen Äthermenge gefüllt, die Grenzen fest genug, den Druck auszuhalten, so wird an dem ganzen Zustand nur das geändert, dass die Dichtigkeit aus δ jetzt in $n\delta$ übergeht und damit der nach allen Seiten hin stattfindende Druck, welcher wieder für den Zustand des Gleichgewichts, der Ruhe der Grenzflächen, gleich dem äussern Druck ist, so dass die Volumen der Gase sich umgekehrt wie die äussern Drucke verhalten. Es findet statt:

$$v_{p1} : v_{p2} = p_2 : p_1$$

wenn p_1, p_2 äussere Drucke, v_1 und v_2 die entsprechenden Volumen des Gases sind.

In einem wirklichen Gase sind aber noch Dynamiden befindlich. Die Körperkerne ziehen an und wirken darum dem Einfluss des Äthers entgegen. Demnach muss die Druckwirkung des Gases etwas geringer sein, als sie nach dem einfachen Mariotte'schen Gesetz sein muss. Alsdann sind aber, da ein wirklicher Nullpunkt der Wärme, d. h. ein vollkommener Ruhezustand, nicht als vorhanden gedacht werden kann, die Dynamiden mit dem gesamten Äther in Bewegung. Nebst rotierenden Bewegungen sind auch schwingende zu denken. Dadurch werden auf die Wände treibende ausdehnende Stösse ausgeübt, die für sich klein, in ihrer Summe auch nicht gross, doch die Druckkraft des Inhaltes des Volumens vergrössern helfen.

Die Regnault'schen Zahlen sind wohl als die sichersten Ergebnisse der vielen experimentellen Untersuchungen über den Druck der Gase anzusehen. Bekanntlich ergeben sie für den Wasserstoff eine entgegengesetzte Abweichung von dem reinen Gesetz, als die andern untersuchten Gase, Luft, Stickstoff, Kohlensäure zeigen. Nach unserer Auffassung des Gaszustandes sind solche verschiedene Abweichungen ganz erklärlich, da sie von den Massen der Dynamiden und von ihren Schwingungsweiten bei verschiedenen Wärmegraden abhängen. Als ideales Gas ist aber nicht mehr, wie es zuweilen heisst, ein Gas zu suchen, welches zwischen Wasserstoff und den andern genannten steht, sondern der reine repulsive Äther ist es.

Eine numerische Berechnung der Abweichungen schon jetzt vorzunehmen, wo unsere Kenntnisse von den innern Bewegungszuständen der Körper noch so gering sind, hat keinen Zweck. Es hat für unsre Untersuchungen auch keinen Sinn, auf allgemeine Annahmen und irgend welche Funktionen hin Resultate herauszurechnen, die zuletzt herauskommen sollen. Wo auf dem Boden des Grundgesetzes hin nicht sicher und bestimmt gerechnet werden kann, sollen nur durch anschauliche Untersuchungen die Ergebnisse im grossen Ganzen ermittelt werden, und es soll versucht werden, inwieweit sie nach den durch die Empirie festgestellten Thatsachen zu deuten sind. Das vornehme Gebäude analytischer Berechnung bleibe uns fern, so lange es sich nicht auf bestimmter Grundlage aufbauen kann.

Streng genommen ist der Druck eines Gases von oben nach unten hin durch den Einfluss der Erde zunehmend, wie der der Atmosphäre. Für kleine Gasvolumen kann dieser Unterschied aber ausser Beachtung bleiben.

§ 22.

Die Wärme eines Gases ist bei gleichbleibendem Druck den Logarithmen der Volumen verhältniss.

Ein System von Dynamiden kann durch äussere Anlässe in Bewegungen mannigfacher Art versetzt werden, je nach Art und Weise dieser Anlässe. Das ganze System kann sich fortbewegen, die einzelnen Dynamiden können in drehende, schwingende, auch gleichzeitig in beide Bewegungen versetzt werden. Unter den vielen Formen der Bewegungen fassen wir die um die Gleichgewichtslage hin- und herschwingende als Wärme auf. Wir befinden uns damit auf bekannter Grundlage, nur, dass wir nicht die Annahme machen können, dass die Schwingungen im gasförmigen Zustande sich in geradlinig fortschreitende Bewegungen verwandelt hätten, die mit gleichförmiger Geschwindigkeit stattfinden, bis sie auf irgend ein Hindernis, eine Wand oder ein anderes Molekül treffen, wie es die kinetische Gastheorie verlangt. Wir meinen, solche pendelartigen Schwingungen müssen im gasartigen Zustand nur grössere Schwingungsweiten annehmen als im festen, sonst aber denselben Charakter der Bewegung beibehalten. Die lebendige Kraft der Schwingungen, $\sum \frac{1}{2}mv^2$, ist, da sie den von den Molekülen geleisteten Arbeiten entspricht, als Mass der Wärmemengen zu nehmen.

Ein Gasvolumen denken wir uns als einen Raumteil, gefüllt mit freiem Äther, in welchem sich eine Anzahl Dynamiden von geringer Rotationsgeschwindigkeit, also mit grossen Hüllen befinden. Die Summen der Masse der Atome, also nm , wenn n die Anzahl der Dynamiden, m die Masse eines einzelnen ist, ist die Masse des Gasvolumens und ist seiner Dichte d gerade verhältniss. Die Masse der Hüllen wird vielleicht verschwindend klein sein. Die Dichte des Äthers, δ , ist von der Grösse und Dichte der Atome und ihrer gegenseitigen Entfernung abhängig und kann annähernd als in allen Punkten ungefähr gleichseind angesehen werden.

Wir wollen das Volumen eines Gases, welches sich auf dem absoluten Nullpunkt der Wärme, also bei vollständiger Ruhe seiner Dynamiden befindet, mit v_0 bezeichnen. Wird diesem Gase alsdann eine gewisse Wärmemenge, also eine gewisse Bewegungsgrösse mitgeteilt, so wird sich diese auf zweierlei Art äussern. Sie hat zuerst die Dynamiden in Schwingungen zu versetzen. Diese Schwingungen finden einen Widerstand an den einschliessenden Grenzflächen, welche durch den äusseren Druck bestimmt werden. Es wird demnach, sind

diese äussern Grenzflächen, oder ist eine von ihnen verschiebbar, der äussere Druck um einen bestimmten, von der Grösse der Energie abhängigen Wert zurückgeschoben werden. Es wird damit eine äussere Arbeit geleistet.

Wir setzen hierbei voraus, dass die Wärme keine innere Arbeit zu leisten hat, kein Auflockern und Zerlegen der Moleküle in ihre einzelnen Bestandteile, also keine chemische Zersetzung und keine Zustandsveränderung der Moleküle. Ganz ohne innere Arbeit ist allerdings kein Gas denkbar; bei jeder Vermehrung der Energie, jeder weiteren Entfernung der Dynamiden von einander, muss jedenfalls der gegenseitigen Anziehung derselben entgegengearbeitet werden und diese Arbeit erfordert einen Teil der Wärme. Nur für ein ideales Gas, also nach unserer Auffassung für den reinen Ätherzustand, fällt diese innere Arbeit weg und es bleiben nur, wie vorhin gesagt, die beiden Äusserungen der Wärme zu untersuchen, die äussere Arbeit und die Vermehrung der Energie.

Die bekannten Gase nähern sich diesem Zustande mehr oder weniger an, je näher sie sich dem Siedepunkte ihrer Muttersubstanz befinden, desto weniger. Fast vollständig gelten die Gesetze des idealen Gases für Luft, Sauerstoff, Wasserstoff und Stickstoff.

Führen wir also diesem Gasvolumen eine mit C zu bezeichnende Wärmemenge zu, so muss nach obiger Voraussetzung dieses C in zwei Teile zerfallen, einen mit C_a zu bezeichnenden, welcher die äussere Arbeit vollbringt und einen, C_v , welcher die Energie im Volumen, also die Schwingungen der Dynamiden hervorruft. Es ist demnach

$$C = C_a + C_v.$$

Der auf dieses Gasvolumen einwirkende äussere Druck, welcher für diese Untersuchung als sich gleich bleibend angenommen wird, und dessen auf die Flächeneinheit bezogene Grösse mit p_0 bezeichnet werden soll, bestimmt die Dichte des das Volumen erfüllenden Gases und damit den inneren Druck, dessen Grösse, da wir den Zustand der Ruhe der Grenzflächen vor dem Einführen der Wärme zu setzen haben, ebenfalls in diesem Zustande gleich p_0 für eine Flächeneinheit ist. Es hat nun die eingeführte Wärme den äussern Druck und die zu diesem in einem geraden Verhältnis stehende Masse des Äthers, welche durch seine Dichte gegeben ist, zu bewegen, darum muss also, da keine andere Bewegung, keine innere Arbeit zu leisten ist, zwischen den beiden Teilen der Wärme ein grades,

festes Verhältniss bestehen, so dass für k gleich einer zu ermittelnden numerischen Grösse, stattfindet

$$\frac{C_a}{C_v} = k.$$

Die durch C_v gegebene Energie bestimmt die Temperatur des Gases. Sie teilt sich, wenn wir zur Ermittlung ihrer Grösse einen Wärmemesser ins Gas bringen, unter Wahrung des Gesetzes, dass

$$\sum \frac{1}{2} m v^2 = \sum \frac{1}{2} m_1 v_1^2$$

ist, den Molekülen desselben mit, deren Masse dann mit m_1 , deren mittlere Geschwindigkeit mit v_1 gegeben werden soll, so dass für gewöhnliche Anwendungen das hunderttheilige Quecksilberthermometer genommen, $\sum \frac{1}{2} m_1 v_1^2$, die Energie der Quecksilbermoleküle angiebt, welche wiederum das Volumen des Quecksilbers bedingt, welches als Mass der Wärme dient. t soll die Bezeichnung der üblichen Einheiten dieses Thermometers sein. Demnach ist die Temperatur der Wärme C_v verhältniss, so dass stattfindet

$$C_v = c_v \cdot t,$$

wobei c_v die Wärmemenge für einen Grad Temperaturerhöhung ist. Weil aber C_a zu C_v im festen Verhältniss steht, ist auch

$$C_a = c_a \cdot t,$$

wobei c_a die zur äusseren Arbeit für einen Grad Temperaturerhöhung erforderliche Wärme ist, so dass auch

$$c_a = k \cdot c_v$$

ist.

Jede Volumenzunahme bedingt eine äussere Arbeit, denn der auf der Oberfläche o lastende Druck — p sei seine allgemeine Benennung für die Flächeneinheit, seine besondere Grösse für den vorliegenden Fall soll nachher dargethan werden — muss um eine gewisse Strecke, Δh sei sie benannt, zurückgeschoben werden; wobei, da der Druck in jedem Punkte senkrecht auf die Oberfläche des betreffenden Körpers wirkt, Δh auch in jedem Punkte zu o senkrecht steht. Demnach ist, da op_0 der gesamte Druck auf die Oberfläche ist, Δh der von ihm zurückgelegte Weg, die geleistete Arbeit gleich $po \Delta h$, oder da $o \Delta h$ die Vergrösserung des Volumens, Δv , angiebt, auch gleich $p \Delta v$.

Wir wenden diesen Ausdruck an, um die Abhängigkeit der zur äusseren Arbeit erforderlichen Wärme, der Arbeit selbst und des Volumens von einander zu bestimmen, wie folgt:

Führen wir dem Gasvolumen v_0 , unter dem constanten Drucke p_0 , eine kleine Wärmemenge ΔC zu, so ist die Folge, dass dieses

Volumen um eine kleine Grösse Δv zunimmt. Es ist eine Arbeit $p_0 \Delta v$ geleistet, dabei ist der Wärmeanteil ΔC_a verbraucht, und gleichzeitig ist die Temperatur um eine bestimmte Grösse erhöht, welche durch ΔC_v bestimmt ist. Um aber zu finden, in welcher Beziehung ΔC_a zu der geleisteten Arbeit steht, haben wir zu bedenken, dass wir ein Gas vor uns haben, dessen Spannung in allen Punkten dieselbe ist, in welchem, wenn wir es uns in parallele, sehr dünne Schichten zerteilt denken, jede einzelne Schicht unter demselben Druck, gegeben durch p_0 für eine Flächeneinheit, steht. In jeder Schicht steht dem äusseren Drucke der gleiche Eigendruck gegenüber. In jeder Schicht hebt die hinzutretende Wärme einen ihm entsprechenden Druckwert auf und schiebt ihn förmlich aus der Schicht weg.

Zur grösseren Veranschaulichung stellen wir uns einen senkrechten, oben offenen Cylinder vor, vom Querschnitt o , dessen Wandungen durchaus fest sein sollen. Bis zur Höhe h sei er mit einem Gase gefüllt; in dieser Höhe sei eine im Cylinder verschiebbare, das Gas oben begrenzende Kreisfläche, auf welcher der Gesamtdruck op_0 lastet. Das Gas soll als eine Summe horizontaler Schichten von der verschwindend kleinen Höhe dh betrachtet werden. Jede Schicht wird von oben her gleichmässig durch den Druck op_0 gepresst. Wir sehen davon ab, dass jede obere Schicht auch auf die untere drückt, und somit die Gleichartigkeit des Druckes um ein Unbedeutendes verändert wird, oder mit andern Worten, wir denken uns ein Gas frei im Weltenraume, ohne den schwermachenden Einfluss der Erde.

Der eingeführte Wärmeanteil ΔC_a hebt nun nicht den vollen äusseren Druck auf, denn sonst müsste dieser ja verschwinden und das Gas sich vermöge des Eigendruckes ins Unendliche ausdehnen, sondern nur einen durch p_1 zu bezeichnenden und gleich zu ermittelnden Anteil. Dieser Druck p_1 wird aus jeder Schicht entfernt, nach oben geschoben, die Schicht wird um so viel entlastet, so dass für den gesamten Gascylinder die Wirkung derart ist, als wenn dieser Druck von unten nach oben hin um den Weg h aus dem Gase hinausgeschoben würde, oder es ist, da in jeder Schicht von der Höhe dh das Wärmedifferential dC_a die Arbeit $op_1 dh$ leistet das Integral von Null bis h genommen, gleich $p_1 oh$, gleich $p_1 v$. Ebenso ist in jedem andern Volumen, da die Arbeit in jeder der gedachten Schichten $p_1 dv$ ist, die gesamte geleistete Arbeit, das Integral zwischen v_0 und Null ausgeführt, gegeben durch $p_1 v_0$.

Nun aber, da die Wärme vom äussern Druck p_0 dem Anteil p_1 das Gleichgewicht hält, muss, wenn sich nach der Vergrösserung des

Volumens der Ruhezustand hergestellt hat, der Eigendruck des Gases, also der Druck des Äthers, der anfänglich auch p_0 auf die Flächeneinheit war, der Differenz $p_0 - p_1$ das Gleichgewicht halten, oder vielmehr, weil jetzt, um den Gleichgewichtszustand zu erlangen, der Druck des Gases geringer, damit auch seine Dichte, muss jetzt das Volumen des Gases sich vergrössern. Es nehme um Δv zu.

Jetzt ist aber, wegen

$$v_0 : v_0 + \Delta v = p_{11} : p_0,$$

wobei p_{11} den Druck des Gases nach der Volumenvergrösserung bezeichnet, damit gleich $p_0 - p_1$ ist,

$$p_{11} = \frac{v_0 p_0}{v_0 + \Delta v}$$

und

$$p_1 = p_0 - \frac{v_0 p_0}{v_0 + \Delta v} = \frac{p_0 \Delta v}{v_0 + \Delta v}$$

und damit ist die von der Wärme ΔC_a geleistete Arbeit gleich

$$p_0 v_0 \frac{\Delta v}{v_0 + \Delta v}.$$

Das Gesetz von der Erhaltung der Kraft bedingt die Äquivalenz, sagen wir lieber den Gleichwert zwischen Wärme und Arbeit. Drücken wir diesen Gleichwert durch A derart aus, dass eine Wärmeinheit A Arbeitseinheiten und damit eine Arbeitseinheit $\frac{1}{A}$ Wärmeinheiten gleichwertig seien, so ist

$$\Delta C_a = \frac{1}{A} p_0 v_0 \frac{\Delta v}{v_0 + \Delta v}.$$

Ehe wir die Entwicklung weiter führen, soll an dieser Stelle auf einen wesentlichen Unterschied in der Auffassung der von einer solchen Wärmemenge geleisteten äusseren Arbeit aufmerksam gemacht werden, wie er nach dieser Darstellung und nach der in der mechanischen Wärmetheorie üblichen hervortritt. Nach den hier gewählten Bezeichnungen ist nach unserer Auffassung die Arbeit gegeben durch $p_1 v_0$, während sie sonst durch $p_0 \Delta v$ gegeben ist. Es wird dort also angenommen, dass der ganze auf der Oberfläche o lastende Druck, also $p_0 o$ um die Strecke Δh von der eingeführten Wärme zurückgeschoben würde, dass diese also die Arbeit $p_0 o \Delta h = p_0 \Delta v$ leiste. Diese Arbeit wird allerdings geleistet, aber nicht allein von der Wärme, sonst zum grössern Teil von dem innern, sich ausdehnenden Gase. Für feste und flüssige Körper, welche keine innere Spannung besitzen, welche gar nicht oder in verschwindend kleinen Grössen in jeder ihrer Schichten vom äusseren Druck gepresst werden, ist der Satz, dass

$$\Delta C_a = \frac{1}{A} p_0 \Delta v$$

ist, richtig; nicht für Gase.

Wie für vorliegende Auffassung gilt diese Formel aber auch nach den Folgerungen der kinetischen Gastheorie; denn ist ein Gasvolumen von festen, aber verschiebbaren Wänden eingeschlossen und von einer bestimmten Grösse gegeben, so ist der Innendruck des Gases veranlasst durch die Stösse der in geradliniger Richtung gegen die Wände fliegenden und abprallenden Moleküle. Ob die Stösse senkrecht zu den Wänden oder schief gerichtet sind, ob die Moleküle sich in dem Gase selbst treffen oder nicht, ist, wie leicht dargethan wird, dabei gleichgültig, denn die Summe der senkrechten Stösse gegen eine Wand und die der senkrechten Componenten der schiefen Stösse ergeben für die constante mittlere Geschwindigkeit der Moleküle in beliebigen Richtungen dieselbe Grösse.

Nun sollen bei einem bestimmten Wärmegrad die Moleküle in einem gewissen Volumen eine gewisse Geschwindigkeit haben, und damit einen Druck, p_0 , auf die Flächeneinheit gleich dem äusseren Druck hervorrufen. Würden zunächst durch eine äussere Gewalt, also ohne dass Geschwindigkeit und äusserer Druck verändert werden, die Wände des Volumens um eine kleine Strecke Δh zurückgeschoben, das Volumen damit um Δv vermehrt werden, so müssten die fliegenden Moleküle grössere Weglängen zurücklegen, ehe sie die Wandungen treffen; es werden also in gleicher Zeit wie vorher, eine geringere Anzahl Stösse auf die Flächeneinheit treffen, der Eigendruck des Gases wird geringer werden, er sei dann p_1 für die Flächeneinheit. Hört die äussere Gewalt, welche die Wände zurückgeschoben haben, auf, so wird der äussere Druck den vorigen Zustand wieder herstellen; soll dass vergrösserte Volumen erhalten werden, so muss der innere Druck vergrössert, also die Geschwindigkeit der Moleküle entsprechend um eine Grösse vermehrt werden, welche für sich allein den Druck $p_{,,}$ auf die Flächeneinheit ausübt, so dass also $p_0 = p_1 + p_{,,}$ ist. Die insgesamt geleistete Arbeit $p_0 \Delta v$ wird zum Teil von p_1 zum andern Teil von $p_{,,}$ geleistet, so wie auch nach der Äthertheorie, dass sie der Differenz $p_0 - p_1$ das Gleichgewicht hält.

Kehren wir zu unserm Ausdruck für die von der Wärme ΔC_a geleistete Arbeit zurück und lassen wir jetzt die kleine Wärmemenge verschwindend klein werden, oder geht ΔC_a in dC_a über, damit Δv in dv , so wird $v_0 + \Delta v$ das von der jedesmaligen Wärmemenge abhängige Volumen v und wir haben seine Abhängigkeit

von C_a und sein Verhältniss zum Anfangsvolumen v_0 in dem Ausdruck

$$d C_a = \frac{p_0 v_0}{A} \cdot \frac{dv}{v}.$$

Integrieren wir, erhalten wir

$$C_a = \frac{p_0 v_0}{A} \log v + \text{Const.}.$$

Die Constante ist, da für $C_a = 0$, das Volumen gleich v_0 ist, gleich $-\frac{p_0 v_0}{A} \log v_0$.

Es ist also

$$C_a = \frac{p_0 v_0}{A} \log \frac{v}{v_0},$$

oder

$$v = v_0 e^{\frac{A C_a}{p_0 v_0}}.$$

Weil aber nach Vorhergehendem $C_a = c_a \cdot t$ ist, ist auch

$$v = v_0 e^{\frac{A c_a}{p_0 v_0} t}.$$

Um den Ausdruck $\frac{A c_a}{p_0 v_0}$ beurteilen zu können, untersuchen wir ihn für einen einzelnen Fall. Nehmen wir einen Meter als Längen-, ein Kilogramm als Gewichtseinheit, so ist c_a der einem Kubikmeter Luft bei normalen Luftdruck von 10333 Kilogramm von 1,294 Kilogramm zugeführte Wärmeanteil, der die äussere Arbeit leistet. Die Resultate der Untersuchungen ergeben, wenn die Wärmeeinheit bekanntlich auf ein Kilogramm Wasser für einen Grad Temperaturerhöhung bezogen wird, für Luft c_a gleich der Differenz zwischen Wärme für gleiche Spannung 0,2375 und für gleiches Volumen 0,1684, also gleich 0,0691. Für einen Kubikmeter Luft ist demnach $c_a = 0,0691 \cdot 1,294$; A ist bekanntlich gleich 424 Meterkilogramm gefunden, und deshalb ist

$$\frac{A c_a}{p_0 v_0} = 0,00367.$$

Nennen wir diese kleine Grösse α , so ist

$$v = v_0 e^{\alpha t}$$

und damit haben wir den wahren Ausdruck des Gesetzes von der Volumenzunahme der Gase bei wachsender Wärme und gleichbleibendem äussern Druck.

Es ist aus der Mathematik bekannt, dass stattfindet

$$e^{\alpha t} = 1 + \alpha t + \frac{\alpha^2 t^2}{1 \cdot 2} + \frac{\alpha^3 t^3}{1 \cdot 2 \cdot 3} \dots$$

Weil aber, da α eine so sehr kleine Zahl ist und weil bei allen Beobachtungen die Zahl t auch nicht sehr hoch genommen zu werden pflegt, die höhern Potenzen von αt für jede Wahrnehmung verschwindend klein werden, so dass sie auch für die Rechnung ausser Acht gelassen werden können, zieht unsre Formel sich auf den schon bekannten Ausdruck

$$v = v_0 (1 + \alpha t)$$

zusammen.

Diese schon von Gay-Lussac gegebene und nach ihm benannte Formel darf aber nicht als der exacte Ausdruck des Gesetzes genommen werden, obwohl sie für alle praktische Fälle als hinreichend genau angesehen werden mag; indes macht sich doch nach den Messungen einiger Beobachter der Einfluss der höheren Potenzen von αt geltend. Werden dagegen die Consequenzen der Formel als einer für alle Fälle gültigen exacten Formel gezogen, so führt sie zu folgereichen Irrthümern.

Wir heben hierzu hervor, dass t als Verhältniszahl der Schwingungsgrössen eine absolute Grösse ist, welche vom absoluten Nullpunkt der Wärme an gerechnet werden muss und dass also von negativen Graden zu reden, widersinnig ist. Für den gewöhnlichen Gebrauch, bei welchem wir den Nullpunkt auf den Gefrierpunkt des Wassers legen, ist allerdings der Gegensatz in der Bezeichnung der Grade notwendig, aber wir haben festzuhalten, dass solche Bezeichnung nur conventionell ist.

Wäre die Gay-Lussac'sche Formel als exacte Formel vom absoluten Nullpunkt ausgehend richtig, so wäre das Volumen für 2 aufeinander folgende Grade, a und $a + 1$, bestimmt durch

$$v_a = v_0 (1 + \alpha a),$$

$$v_{a+1} = v_0 (1 + \alpha a + \alpha).$$

Vergleichen wir die beiden aufeinander folgenden Volumen mit einander, so ist

$$v_{a+1} = v_a \left(1 + \alpha - \frac{\alpha^2 a}{1 + \alpha a} \right),$$

und nicht mehr

$$v_{a+1} = v_a (1 + \alpha).$$

Sind wir bei unsern üblichen Temperaturen vielleicht 300—400 Grad vom absoluten Nullpunkt entfernt, so macht sich dieser Unterschied schon in der fünften Decimale erheblich bemerkbar, ein Umstand, der unsern vielen scharfen Beobachtern, namentlich einem Regnault, nicht entgangen wäre.

Soll andernfalls die Formel als exacte Formel gültig vom Gefrierpunkt des Wassers an gelten und das Volumen bei diesem Wärmepunkt v_0 sein, so ist gar nicht einzusehen, warum für jeden Grad Wärmezunahme das Volumen um αv_0 wachsen soll, da doch der Nullpunkt nur ein beliebig gewählter ist und αv_0 also auch von einer willkürlichen Grösse abhängt. Oder sollten wir in diesem Nullpunkt zufällig denjenigen getroffen haben, für welchen dieses Gesetz richtig wäre? Ein höchst merkwürdiger Zufall! — Auch führt diese Annahme dazu, dass das Volumen für den wirklichen Nullpunkt $t = -\frac{1}{\alpha} = -273^\circ$ gleich Null ist, also verschwindet — ein Widerspruch gegen jede naturgemässe Annahme.

Mit dem Wegfall der Gay-Lussac'schen Formel als exacte Formel fällt auch die Folgerung weg, dass der absolute Nullpunkt auf -273°C. liegt und damit die Bedeutung der in der mechanischen Wärmetheorie meist mit R bezeichneten Constanten

$$R = \frac{p_0 v_0}{273}$$

und ihre Anwendung. Ebenso wenig ist, wenn die Gay-Lussac'sche Formel vom absoluten Nullpunkt an gelten soll, diese Grösse R und ihre Anwendung berechtigt, denn auf keinerlei Weise ist dann zu folgern, dass der übliche Nullpunkt vom absoluten um 273° entfernt liegen soll.

Aus dem Gesetz aber, dass

$$v_t = v_0 e^{\alpha t}$$

ist, folgt, dass

$$v_a = v_0 e^{\alpha a}$$

$$v_{a+1} = v_0 e^{\alpha (a+1)}$$

und daraus der gleichartige Zusammenhang der Volumen eines Gases für aufeinanderfolgende Wärmegrade

$$v_{a+1} = v_a e^{\alpha}$$

und daraus als stets genügende, für alle Grade gleichmässig geltende Annäherungsformel

$$v_{a+1} = v_a (1 + \alpha).$$

Es lässt sich aber auch umgekehrt aus der durch die Erfahrung gefundenen Gay-Lussac'schen Formel unser Ausdruck des Gesetzes für die Volumenzunahme eines Gases bei wachsender Wärme und gleichbleibendem äussern Druck durch folgende Betrachtung ableiten, ohne auf die innere Natur der Gase weiter einzugehen, als dass man

für ein ideales Gas ein solches ansieht, in welchem die Wärme keine innere Arbeit zu leisten hat, für welches demnach die Temperatur der Wärme verhältlich ist. Wenn auch die Erfahrung lehrt, dass, so weit die Schärfe unserer Beobachtungen reicht, stattfindet

$$v_t = v_0 (1 + \alpha t),$$

so kann diese Formel doch nur den Wert einer Annäherungsformel haben, denn es ist nicht denkbar, dass die innere Gesetzmässigkeit eines Gases derart ist, dass das Volumen bei einströmender Wärme sich nach den Bruchteilen, $\frac{1}{273}$, eines beliebig gewählten Anfangsvolumens, denn das ist v_0 bei dem Gefrierpunkt des Wassers genommen, vergrössert. Diese Formel kann nur einen innern Sinn haben, wenn für jede kleine Temperaturerhöhung τ das Volumen in $v(1 + \alpha\tau)$ übergeht; so dass für jedes weitere τ in Wahrung desselben Gesetzes das Volumen durch $v(1 + \alpha\tau)^2$, $v(1 + \alpha\tau)^3$ u. s. w. gegeben wird. Wird die Temperaturerhöhung $t = n\tau$ gesetzt, so ist demnach

$$v_t = v_0 (1 + \alpha\tau)^n$$

Wird $(1 + \alpha\tau)^n$ in eine Reihe aufgelöst und bei der ersten Potenz von $\alpha\tau$ wegen des kleinen Wertes α stehen geblieben, so haben wir wieder die Gay-Lussac'sche Formel als genügende Annäherungsformel. Der volle Wert von $(1 + \alpha\tau)^n$ wird aber erhalten, wenn $\tau = \frac{1}{n}t$ gesetzt wird, worin, wegen des unendlich kleinen τ die Grösse n unendlich gross ist. Es ist dann der Grenzwert von

$$\left(1 + \frac{\alpha t}{n}\right)^n = e^{\alpha t}.$$

Denn setzen wir

$$\left(1 + \frac{\alpha t}{n}\right)^n = k,$$

so ist

$$n \log \left(1 + \frac{\alpha t}{n}\right) = \log k$$

und

$$\frac{\alpha t n}{\alpha t} \log \left(1 + \frac{\alpha t}{n}\right) = \log k.$$

und

$$\alpha t \log \left\{ \left(1 + \frac{\alpha t}{n}\right)^{\frac{n}{\alpha t}} \right\} = \log k,$$

damit, da $n = \infty$,

$$\alpha t \log e = \log k$$

und

$$e^{\alpha t} = k.$$

Also ist wiederum

$$v_t = v_0 e^{\alpha t}.$$

§ 23.

Das Volumen eines Gases ist von Druck und Wärme abhängig.

Nach dem § 21 verhalten sich die Volumen der Gase umgekehrt wie die Drucke, also

$$v : v_0 = p_0 : p,$$

da die Drucke der Ätherdichte verhältniss sind. Es ist

$$v_p = \frac{v_0 p_0}{p},$$

wobei v_p das Volumen beim Druck p angiebt. p_0 mag der normale Druck von 760 mm Quecksilberhöhe gleich 10333 Kilogramm auf 1 Quadratmeter sein. Vereinen wir diesen letzten Satz mit dem des letzten Abschnitts, so ist

$$v_{p,t} = \frac{v_0 p_0}{p} e^{\frac{A c_a}{p_0 v_0} t} = \frac{v_0 p_0}{p} e^{\alpha t},$$

so dass $v_{p,t}$ das Volumen beim Drucke p und absoluten Temperaturgrad t angiebt. Die Gleichung ist nach den vorhergehenden Betrachtungen ebenfalls zu gebrauchen, wenn wir vom üblichen relativen Nullpunkt ausgehen und t dann in den darauf bezüglichen Graden gelten lassen. Die bezüglichen Gesetze über den Zusammenhang von je zweien der drei Grössen v , p und t , wenn die dritte constant gehalten wird, ergeben sich wieder aus dieser Hauptgleichung. Geltung hat natürlich diese nur für ein ideales Gas, welchem die bekannten Gase mehr oder weniger nahe kommen. Für Dämpfe, namentlich im Zustande der Sättigung, welche noch mit ihrer flüssigen Muttersubstanz in Berührung sind, treten natürlich andere Voraussetzungen ein, welche noch nicht berührt werden sollen.

§ 24.

Die bekannten Erscheinungen der Gase sind aus dem Ätherzustand zu erklären.

Die Gasform der Körper muss als die ursprüngliche, einfachste Form bei der Bildung der Körper angesehen werden. Aus ihm haben sich durch äussere Ursachen, Antriebe, infolge dessen grössere Ro-

tationen die mannigfaltig verschiedenen flüssigen und festen Körper gebildet, die aber trotz ihrer so sehr verschiedenen Eigenschaften, doch nur verschiedene Formerscheinungen derselben Materie sind. Diese Vorstellung stimmt auch mit der üblichen Hypothese von der Bildung des Weltsystems oder eines Sonnensystems aus dem allgemeinen Chaos des ersten gasigen Zustandes überein.

Zuerst also sind die Dynamiden als im Zustand der Ruhe befindlich anzusehen. Ihre Hüllen reichen mit abnehmender Dichte bis ins Unendliche. Jede Dynamide schwimmt in den Hüllen aller übrigen. Irgend ein Anstoss von aussen versetze sie in Rotation. Die Hüllen werden kleiner. Ob nun zu setzen ist, dass die Grösse der Hüllen schon so weit zurückgegangen ist, dass die einzelnen Hüllen sich nicht mehr berühren, oder dass sie noch in einander greifen, bleibe dahingestellt. Im grossen Ganzen hat sich der Formzustand noch wenig von dem des reinen Äthers entfernt. Wir erkennen es namentlich in den Lichtbrechungsquotienten. Diese geben das Verhältniss der Lichtgeschwindigkeiten an, und diese verhalten sich wieder wie die Quadratwurzeln der Raumdichte des Äthers. Für die obern Gase sind Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff und Luft diejenigen, welche sich dem reinen Ätherzustand am meisten nähern. Die Zahlen weichen am wenigstens von eins ab, und damit die Ätherdichte der Gase wenig von der Dichte des Äthers im allgemeinen Raume. Eine Abhängigkeit von der Dichte des Gases ist vor der Hand nicht zu finden. Ausser der Masse der Moleküle wird ihre Grösse und ihre Rotationszeit einen wesentlichen Factor zur Bestimmung der durchschnittlichen Ätherdichte abgeben. Solange wir über das innere Wesen der Moleküle nicht mehr bestimmte Anhaltspunkte haben, als die beobachtende Wissenschaft bis jetzt geliefert, wird sich schwerlich die Natur der Abhängigkeit feststellen lassen. Im allgemeinen erkennen wir, dass mit grösserer Dichtigkeit der Gase auch der Brechungsquotient zunimmt, dass mit wachsendem d auch δ zunimmt, aber Abweichungen von der Regel fehlen nicht.

Ebenso spricht für unsere Gastheorie das fast vollständige Fehlen der Dispersion des Lichtes. Die Brechung aller Arten von Lichtstrahlen, die sonst eine Abhängigkeit von Wellenlänge und Körpernatur zeigt, ist gleich und deutet damit auf ein in sich einheitliches elastisches Fluidum.

Die Thatsache, dass die Dampfdichten sich wie die Molekulargewichte verhalten, und dass damit in gleichen Gasvolumen auch gleich viel Moleküle sich befinden, ist hiernach verständlich, ebenso

dass die Gasmoleküle sich auch in einem schon von einem andern Gase erfüllten Raum verbreiten können, als ob er gasleer wäre. Es sind die Diffusionen als Bewegungserscheinungen aufzufassen, um das Gleichgewicht der Spannung in allen Punkten des Volumens herzustellen.

Die Verdunstung ist als ein Vorgang an der Berührungsfläche eines flüssigen und eines luftförmigen Körpers aufzufassen, der darin seine Ursache hat, dass die Dynamiden des flüssigen Körpers schneller, die des luftförmigen langsamer rotieren. An den Berührungstellen verlieren die ersteren einen Teil ihrer Geschwindigkeit, Äther wird aus dem Gase angezogen, die Hüllen werden grösser, bis sie gross genug sind, dass die betreffenden Dynamiden selbst luftförmig geworden sind. Für den flüssigen Körper ist damit ein Verlust an Bewegung, also an Wärme verbunden. Die damit von dem Gase gewonnene Bewegungs-, also Wärmezunahme kommt in dem grossen Volumen desselben nicht zur Beachtung.

Aus gleichen Ursachen verdunsten feste Körper an der Luft, Schnee, Eis, feste Kohlensäure, ohne erst flüssig zu werden, vielleicht in etwas alle feste Körper, nur so wenig, dass es sich jeder Beobachtung entzieht.

Wie flüssige Körper in luftförmige lösen sich feste in flüssige auf unter Bindung von Wärme. Die Ursachen werden gleichfalls in Verschiedenheit der Hüllen und Rotationsgeschwindigkeiten, in Spannungsunterschieden und deren Ausgleich zu suchen sein.

Feste Körper absorbieren oft flüssige und luftförmige Körper und binden sie förmlich in sich unter Wärmeentwicklung. Diese Thatsache ist der vorigen entgegengesetzt, kann aber gleichzeitig mit ihr stattfinden. Ausser den Wirkungen der Hüllen finden die Anziehungen der Kerne statt. Diese mögen wohl die Absorptionen bewirken und dabei durch Umsetzen ihrer potentiellen Energie in aktuelle die Zunahme der lebendigen Kraft der Bewegungen, der Wärme bewirken.

Die vielen einzelnen Thatsachen anzuführen, hat keinen Zweck, sie sind dem Physiker schon ohnehin bekannt, und viele Vorgänge liessen sich noch nennen, die auf Grund der Wechselwirkungen der Materien und ihrer Kräfte zu erklären wären. Wer mit uns auf gleicher Basis der einheitlichen Auffassung des Naturganzen steht, wird sicherlich in manchen Vorgängen das Wechselspiel der Kräfte und ihrer Bewegungen wieder erkennen, und wenn auch nicht sogleich numerisch bestimmend, doch anschaulich erklärend mit uns weiter forschen.

§ 25.

Die Rotationen der Dynamiden sind die Ursachen der chemisch-elektrischen Erscheinungen.

Je weiter wir uns von dem einfachen Urzustand der Körper entfernen, desto schwerer wird unsre Aufgabe. Alle Versuche, irgend welche Abhängigkeit der gefundenen Zahlen für Molekulargewichte, Dichtigkeit, Festigkeit, Wärmegrössen der verschiedenen Art, Brechungsquotienten, damit die Ätherdichte im Innern des Körpers u. s. w. von einander zu finden, sind vergeblich. Kaum zeigt sich für einen Augenblick scheinbar eine Abhängigkeit, gleich sind wieder andere Zahlen da, die widersprechen. So sicher die Wege sind, die zur Erforschung der grossen uranologischen Welt führen, so schwer sind sie bei dem Suchen nach den Gesetzen in den Zuständen der uns vor Augen liegenden Körperwelt und noch immer „strebt der ordnende Geist bei Durchforschung des irdischen Reiches missmutig nach einfachen Bewegungsgesetzen.“ Aber man darf den Mut darum nicht verlieren und muss getrost zuerst die Wege wandeln, von denen man glaubt, dass sie zum Ziele führen können. Entdeckt man, dass sie Irrwege sind, dann auch nicht niedergeschlagen das forschende Streben aufgeben, sondern mutig andere Wege eingeschlagen. Schliesslich muss das Ziel doch erreicht werden, nicht gleich von Einem, Andere müssen den Weg mitwandeln, dass er Allen sicherer werde.

Wir sind davon ausgegangen, dass mit grösserer Umschwingungsgeschwindigkeit sich die Hüllen der Atome zusammenziehen und kleiner werden, und haben gefunden, dass die Radien derselben in bestimmter Abhängigkeit von Masse und Zeit stehen. Die genäherten Atome können zu Molekülen, diese zu grösseren Gruppen zusammentreten.

Die Atome, die Moleküle, die Gruppen, vielleicht noch höhere Verbindungen, können je für sich eigene Umschwungszeiten haben oder verschiedene. Die Achsen können gleichgerichtet sein, können in allen andern Lagen liegen; kurz, es sind die mannigfaltigsten Möglichkeiten denkbar. Die einzelnen Dynamiden können gegen einander in Ruhe sein oder in schwingender Bewegung um ihre Gleichgewichtslage sich befinden. Zugleich mit den Rotationen finden die früher hervorgehobenen Strömungen in den Hüllen, der Rotation entgegengerichtet, und in den Äquatorialgrenzen der Hüllen wieder

Ausströmungen, der Rotation gleichgerichtet, statt. Diese Ströme müssen, durch den Stoss wirkend, die Nachbargruppen beeinflussen, und je nach dem Sinne der Strömungen trennend oder bindend wirken.

Die schwingende Bewegung um die Gleichgewichtslage werden wir wohl nach allem jetzt Vorliegenden als Wärme auffassen müssen. Vielleicht haben wir in den Strömungen in den und um die Hüllen das Wesen der Elektrizität und damit die chemische Anziehung zu suchen. Denken wir uns einmal mehrere Dynamiden neben einander gelagert, so dass die Hüllen stark in einander greifen, die Achsen derselben nicht parallel gerichtet sind, versetzen wir die eine in eine grössere Rotationsgeschwindigkeit, so wird diese auf die andere beschleunigend und drehend einwirken, bis die Ströme gleich gerichtet sind und damit auch die Achsen parallel sind oder gar in einer geraden Linie liegen. Es können dieselben Betrachtungen und Berechnungen angewandt werden wie die beim Einwirken zweier anfänglich nicht gleich gerichteten elektrischen Ströme auf einander. Werden solche Achsen vermöge ihrer innern Lagerung zu dem Schwerpunkt des Systems, die einzelnen Dynamiden können sich selbst ja auch als verschiedene Schwerpunktssysteme ausgebildet haben, anfänglich verschiedenartige Lagen gehabt haben, so werden sie, wenn der äussere Antrieb aufhört, sie wieder einnehmen. Die Strömungen hören auf, für das Ganze gleichartig zu sein. Es sind solche nahe gelagerten Dynamiden, deren Hüllen also gegenseitig über die der Nachbarn hinübergreifen, vergleichbar Zahnrädern, welche sich von innen berühren. Die Drehung eines jeden zwingt die andern zur Drehung im gleichen Sinne und zu gleicher Richtung der Achsen, während bei Berührung der Hüllen von aussen durch jede Drehung der einen die entgegengesetzten Drehungen der Nachbarn entstehen.

In den natürlich magnetischen oder künstlich magnetisch gemachten Körpern haben wir, da der Magnetismus als die achsiale Wirkung äquatorialer elektrischer Ströme erkannt ist, Körper, deren Dynamidenachsen schon sämtlich parallel sind, vielleicht mehr oder weniger, je nach der Stärke des Magnetismus, also der elektrischen Ströme. Die Richtung der frei schwebenden Magnetnadel als durch die Einwirkung der erdelektrischen Strömungen auf die Elementarströme des Magneten bestimmt, ist somit leicht erklärt. Die Wirkungen der Magnete und damit der Elektrizitäten in der Ferne ergiebt sich als vermittelt durch die dazwischen

liegenden Dynamiden der Luft, welche, in dieselben Drehungen versetzt, sie weiter tragen und so auf entferntere Körper im selben Sinne einwirken wie benachbarte Dynamiden; nur müsste gedacht werden, dass auch die Hüllen der Luftdynamiden, damit aller Gase, gegenseitig die Kerne umfassen, was bei den grossen Hüllen derselben keine Schwierigkeit in der Vorstellung hat. So ist das Magnetischwerden des weichen Eisens in der Nähe eines Magneten, so die Verteilung der Elektricitäten in einem Leiter in der Nähe einer gegebenen Elektrizitätsmenge denkbar, so ähnlich auch das Wesen der Induktionsströme, so auch das sich gegenseitige Vernichten entgegengesetzter Elektricitäten.

Vereinigen wir diese Vorstellungen mit der von der hin- und herschwingenden Bewegung, so haben wir ein reichhaltiges Bild von allem dem, was in und an den Körpern vorgeht und es wird erklärlich, wie jeder der vielen Faktoren zum Wesen des Ganzen mitwirkt und wie von der grossen Einfachheit der Grundlage, von der wir ausgingen, ausgehend, doch so ausserordentlich viele verschiedene Körper als Folgerungen entstehen müssen.

Durch das Zusammenwirken der Bewegungen der verschiedenen Bewegungen ist nun noch mit Einfachheit der Übergang der Aggregatzustände in einander zu erklären. Gehen wir zunächst von dem festen Zustand aus und denken wir uns die mehr oder weniger geordnet liegenden rotierenden Dynamiden in grösser werdende Schwingungen um die Gleichgewichtslage versetzt. Mit den durch die Schwingungen hervorgerufenen Anstössen an einander werden auch die Entfernungen grösser, der freie Äther hat Gelegenheit sich in die Zwischenräume zu drängen, und, angezogen von den Kernen, grössere Hüllen zu bilden. Die lebendige Kraft der Drehung dehnt sich damit über eine grössere Äthermasse aus und die Folgerung ist, dass die Umschwingungsgeschwindigkeit geringer werden muss und damit wieder ein Moment zur weiteren Vergrösserung der Hüllen gegeben ist, bis zur schliesslichen vollständigen Trennung der Dynamiden. In den Dynamiden, als Gruppen von Atomen gedacht, herrschen zusammenhaltende Druckkräfte, die bei einem gewissen Bewegungsgrad überwunden werden können, so dass dann mit Verlust eines Teiles der actuellen Energie und mit Übergang desselben in potentielle Druckkraft eine Auflockerung der ganzen Druckkraft erfolgt. So wäre die plötzliche Volumenausdehnung beim Schmelz- und Siedepunkte und die dabei erfolgte Bindung von Wärme zu denken.

Die Ursache des Lichtes haben wir in heftig vibrierenden Atomen

der leuchtenden Körper zu suchen. Denken wir uns eine Atomgruppe als Ganzes, vielleicht z. B. als am einfachsten, als eine Kugel, deren Teilchen, kleine Kügelchen, gleichmässig zum gemeinschaftlichen Schwerpunkt, dem Mittelpunkt des Ganzen gelagert sind. Der Mittelpunkt ist vielleicht auch wieder der Mittelpunkt eines kleinen Centralkörpers. Durch äussere Antriebe, z. B. durch die erschütternden Bewegungen der Wärme, mag das Ganze in Bewegung versetzt gedacht werden, so dass neben andern Bewegungszuständen auch radial schwingende Bewegungen der einzelnen Kügelchen auftreten. Wenn das ganze kleine System an diesen Schwingungen teilnimmt, haben wir den Zustand einer sich ausdehnenden und wieder zusammenziehenden Kugel.

Eine solche Kugel soll zunächst für sich allein betrachtet werden. Bei jeder Ausdehnung wird die zunächst liegende Ätherschicht in die nächstfolgende getrieben. Unter Schichten sind natürlich concentrische Kugelschichten gemeint. Die verdichtete Schicht treibt sogleich bei ihrer Entstehung ihre Teilchen nach den Gesetzen, welche in § 13 entwickelt sind, von sich weg, sowohl nach der Kugel hin, als auch entgegengesetzt. In der dritten Schicht entsteht eine Verdünnung, ganz entsprechend der Erscheinung, die wir sehen, wenn durch eine Röhre ein Luftstrom mit genügender Geschwindigkeit gegen eine Wand getrieben wird. Und so werden vom Ursprung aus sich verbreitend, so lange die erregende Kugel in ihrer Bewegung beharrt, in concentrischen Schichten Verdünnungen und Verdichtungen in gemessenen Abständen, welche von der Ausweitungsgrösse der Kugel abhängen, einander folgen. Die Vorstellung des Wesens solcher Schichten ist aus der Akustik zur Genüge bekannt und braucht nicht weiter ausgeführt zu werden, wohl aber kann hierbei hervorgehoben werden, dass wir damit eine klare Vorstellung von der Entstehung verschieden langer Wellen, also von der Ursache der Farben gewinnen.

Die lebendige Kraft in jeder Schicht geht in die nächstfolgende über, deren Grösse mit dem Quadrate der Entfernung vom Ursprunge wächst, folglich nimmt die lebendige Kraft für jede Flächeneinheit im umgekehrten Verhältnis ab.

Ist eine solche vibrierende Kugel als in Ruhe seiend, d. h. der Schwerpunkt des Ganzen in Ruhe seiend, gedacht, ohne irgend eine andere Bewegung des Systems, so haben wir auf dem radialen Strahle allerdings nur longitudinale Wellen. Alle Erscheinungen des Lichtes wären zu verstehen, bis auf die Polarisation, welche unbe-

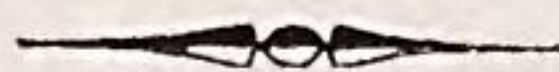
dingt für das natürliche Licht Schwingungen nach allen Richtungen zur Strahllinie erfordert. Diesen verwickelteren Bewegungszustand erhalten wir, wenn wir bedenken, dass nicht anzunehmen, dass eine der vielen möglichen Bewegungen des Gruppensystems je allein auftritt, sie werden stets alle zugleich auftreten, nur bald die eine, bald die andere in stärkerem Masse. Die um die Gleichgewichtslage vibrierende Bewegung der Gruppe bedingt schon ein seitliches Ausweichen der einzelnen Ätherpunkte und damit eine genügende Erklärung der durch die Polarisation erforderten Annahme, und somit haben wir auch eine Vorstellung davon, dass Longitudinal- und Transversalwellen stets vereint auftreten.

Zum Schluss wollen wir noch einige Worte an ein bekanntes Bild Dove's anlehnen:

„In der Mitte eines grossen, finstern Zimmers mag sich ein Stab befinden, der in Schwingung versetzt ist, und es soll zugleich eine Vorrichtung vorhanden sein, die Geschwindigkeit dieser Schwingungen fortwährend zu vermehren. Ich trete in dieses Zimmer, wenn der Stab viermal schwingt. Weder Auge noch Ohr sagt mir etwas von dem Dasein dieses Stabes, nur die Hand, welche seine Schläge fühlt. Aber die Schwingungen werden schneller, sie erreichen die Zahl 32 in der Secunde und ein tiefer Basston schlägt an mein Ohr. Der Ton erhebt sich, er durchläuft alle Mittelstufen bis zum höchsten schrillenden Ton, aber nun sinkt alles in die vorige Grabesstille zurück. Noch voll Erstaunen über das Gehörte fühle ich plötzlich von der Stelle her eine angenehme Wärme sich strahlend verbreiten, so behaglich, wie ein Kaminfeuer aussendet. Aber noch bleibt alles dunkel. Doch die Schwingungen werden noch schneller, ein schwaches, rothes Licht dämmert auf; es wird immer lebhafter, der Stab glüht roth, dann wird er gelb und durchläuft alle Farben, bis nach dem Violett alles wieder in Nacht versinkt. So spricht die Natur zu verschiedenen Sinnen, zuerst ein leises, nur aus unmittelbarer Nähe vernehmliches Wort, dann ruft sie mir aus immer weiterer Ferne zu, endlich ergreift mich auf den Schwingen des Lichtes ihre Stimme aus unermessbaren Weiten.“

Nach diesen Worten hat der Beobachter die Schwingungen des Stabes empfunden vom tiefsten bis zum höchsten Ton, von den ersten Wärmestrahlen bis zum letzten violetten Strahl, ja er hätte auch noch darüber hinaus durch die bekannte Wirkung der übervioletten Wellen das Dasein derselben empfinden können. Aber er hat von allen den ausgehenden Wellen doch nur recht wenige empfunden.

Unsere Gehörsnerven empfinden nur etwa 9 bis 48 000 Wellen in der Sekunde, unsere Gesichtsnerven 450 bis 750 Billionen in derselben Zeit. Wo bleiben aber die in der grossen Lücke zwischen 48 000 und, sagen wir, um vielleicht die langsamsten Wärmewellen einzuschliessen, 400 Billionen mal in der Sekunde schwingenden Wellen? Sie sind da, aber wir empfinden sie nicht, nicht anders, als wenn sie sich in mechanische Arbeit oder in Wellen empfindbarer Geschwindigkeit umsetzen. Sind vielleicht Wesen denkbar mit Organen für dieses uns direct unempfindbare Gebiet versehen? Wir haben keine Organe zur directen Wahrnehmung der electrisch-magnetischen Bewegungen und dieses grosse, reiche Gebiet der Rotationerscheinungen ist dem Menschen verborgen geblieben, bis der Zufall ihn auf eine Ursache aufmerksam machte, welche sich im geeigneten Falle in Massen-Licht- und Schallbewegungen umzusetzen vermochte. Sind vielleicht noch mehrere, noch viele solcher Ursachen in der Natur uns verborgen? — wohl glaublich. Wir brauchen wahrlich nicht, wenn Vorgänge uns aufstossen, welche trotz strengster Prüfung durch die uns bekannten Kräfte nicht zu erklären sind, nach Ursachen zu suchen, welche in s. g. höhern Räumen ihren Sitz haben; es liegt in dem Raum, den wir den unsrigen nennen mögen, noch vieles verborgen, das sich erst allmählich dem forschenden und suchenden Auge des Menschen entschleiern wird.



Inhalt.

	Seite
§ 1. Der Raum ist die unendliche Ausdehnung nach allen Richtungen . .	1
§ 2. Der Raum ist stetig erfüllt	3
§ 3. Jeder Punkt der Materie wirkt in die Ferne	4
§ 4. Die Wirkung jedes erfüllten Punktes des Raumes ist der Dichte gerade, dem Quadrat der Entfernung umgekehrt verhältlich	5
§ 5. Die Fernwirkung tritt im Gegensatze, als Anziehung und Abstossung auf	8
§ 6. Die Summe der Materie, sowie die der Kraft ist eine beständige Grösse	10
§ 7. Die Körperpunkte ziehen an, die Ätherpunkte stossen ab der Dichte gerade, dem Quadrat der Entfernung umgekehrt verhältlich	13
§ 8. Die Körper- und Äthermaterie sind in sich bis zur endlichen Grenze verdichtungs- und verdünnungsfähig	17
§ 9. Der Einfluss jeder im Raume, der mit Äther gleicher Dichtigkeit erfüllt ist, gelegten Ebene auf jeden Punkt des Raumes ist eine con- stante Grösse	18
§ 10. Der Einfluss des unbegrenzten Äthers auf einen Punkt des Raumes ist gleich dem Einfluss einer durch diesen Punkt gelegten Linie, deren Punkte, mit der Raumdichtigkeit erfüllt, sich mit gleicher Stärke unab- hängig von der Entfernung abstossen.	20
§ 11. Der Druck des gesamten erfüllten Raumes ist nur von der Dichtig- keit der Erfüllung abhängig	21
§ 12. Der Druck eines begrenzten Theiles des gesamten mit Äther erfüll- ten Raumes ist gleich dem Druck des unbegrenzten Äthers gleicher Dichte	21
§ 13. Die Beschleunigung eines gestörten Teilchens des Äthers ist der Aus- schlagsgrösse verhältlich	24
§ 14. Die Schwingungen eines gestörten Teilchens des Äthers finden nach den Gesetzen der Sinusoide statt	25
§ 15. Die Folgerungen der Optik führen zu demselben Ergebnis	26

	Seite
§ 16. Die Entstehung des Schattens ist nur in einem mit Äther stetig erfüllten Raume möglich	29
§ 17. Die Ätherhülle eines ruhenden Atoms erstreckt sich mit abnehmender Dichtigkeit bis ins Unendliche	31
§ 18. Die Kuben der Radian rotierender Dynamiden sind den Quadratan der Rotationszeiten verhältlich	33
§ 19. Die in Folge der Rotation in den Hüllen entstehenden Strömungen sind gegen den Äquator hin gerichtet	36
§ 20. Die Ursachen der Aggregatzustände sind in den verschieden grossen Rotationsgeschwindigkeiten der Dynamiden zu suchen	37
§ 21. Der Druck der Gase ist dem Volumen umgekehrt, der Dichte gerade verhältlich	38
§ 22. Die Wärme eines Gases ist bei gleichbleibendem Druck den Logarithmen der Volumen verhältlich	40
§ 23. Das Volumen eines Gases ist von Druck und Wärme abhängig . .	50
§ 24. Die bekannten Erscheinungen der Gase sind aus dem Ätherzustand zu erklären.	50
§ 25. Die Rotationen der Dynamiden sind die Ursachen der chemisch-electrischen Erscheinungen	53



Verlag der Weidmannschen Buchhandlung in Berlin.

LEHRBUCH
der
Differential- und Integral-Rechnung

von
Dr. J. Worpitzky,
Professor an der Königl. Kriegs-Akademie
und am Friedrichs-Werderschen Gymnasium zu Berlin.

Mit 81 in den Text eingedruckten Holzschnitten.

(XX u. 784 S.) Imp.-Fol. 24 M.

Elemente
der
Mathematik
für
gelehrte Schulen und zum Selbststudium.

Von
Dr. J. Worpitzky.

- Erstes Heft: **Die Arithmetik.** Zweite Auflage. Mit 6 in den Text eingedruckten Holzschnitten. (VI u. 156 S.) gr. 8. geh. 2 Mk. 40 Pf.
- Zweites Heft: **Algebra, Kettenbrüche, Kombinationsoperationen nebst Wahrscheinlichkeitsrechnung, Kreisfunktionen nebst Trigonometrie.** Zweite Auflage. Mit 25 Holzschnitten. (VI u. 155 S.) gr. 8. geh. 2 Mk. 60 Pf.
- Drittes Heft: **Planimetrie.** Mit 229 Holzschnitten. (VI u. 165 S.) gr. 8. geh. 3 Mk.
- Viertes Heft: **Planimetrie.** Mit 94 Holzschnitten. (110 S.) gr. 8. geh. 2 Mk. 40 Pf.
- Fünftes Heft: **Stereometrie.** Mit 56 Holzschnitten. (88 S.) gr. 8. geh. 1 Mk. 60 Pf.
-

Arithmetische Wandtafel.

Von
Dr. J. Worpitzky.

Imp.-Fol. 2 Mk.



Hullmann, K.

Der Raum und seine Erfüllung eine Abhandlung zur Licht- und Wärmelehre

Berlin 1884

Math.a. 116 I

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11650295-7